Aus der zentralen Aufnahmeabteilung und Röntgenologie

(Leiter: Prof. Dr. Dr. Dieter Herrmann)

der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

---

"Vergleichende Untersuchungen an Dental-Röntgenfilmen (Densitometrie, Konturenschärfe und Auflösungsvermögen)"

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Zahnärztin Romer, Stefanie geb. Richter
aus Potsdam-Babelsberg

1977

Aus der zentralen Aufnahmeabteilung und Röntgenologie

(Leiter: Prof. Dr. Dr. Dieter Herrmann)

der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

---

"Vergleichende Untersuchungen an Dental-Röntgenfilmen (Densitometrie, Konturenschärfe und Auflösungsvermögen)"

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Zahnärztin Romer, Stefanie geb. Richter
aus Potsdam-Babelsberg

Referent: Prof. Dr. Dr. Dieter Herrmann

Korreferent: Prof. Dr. Jochen Viohl

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 3. Mai 1977

Inhaltsangabe

		Seite
I.	EINLEITUNG	5
II.	ALLGEMEINER TEIL	6
	A. Strahlenbelastung bei Röntgenaufnahmen der Zähne	6
	B. Vergleich eines weniger empfindlichen Filmes mit einem höchstempfindlichen Film	8
	C. Der höchstempfindliche Film - Welche Erwartungen an ihn gestellt werden	11
	1. Empfindlichkeit	12
	2. Kontrast	14
	3. Grauschleier (= Grundschleier)	16
III.	SPEZIELLER TEIL	17
	A. Vorbemerkungen	17
	1. zur Densitometrie	17
	a) Definition der Schwärzung	19
	b) Aufbau einer Schwärzungskurve	2o
	c) Definition des γ-Wertes	22
	d) Definition des ß-Wertes	23
	Empfindlichkeit	25
	Kontrast	25
	Grauschleier	26
	2. zur Konturenschärfe - zum Auflösungsvermögen	26
	a) Konturenschärfe	26
	b) Auflösungsvermögen	26
	3. zu den Filmen	27
	Filmanmerkungen	27
	Hersteller-Angaben	3o
	Film I	3o
	Film II	3o
	Film III	3o
	4. zu den Geräten und Hilfsmitteln	31
	Graukeile	32
	Filmverarbeitung	33
	Schwärzungsmessung	33

Seite

B. Versuchsmethodik 35
1. Zeitskala-Kurve (= echte Filmkurve) 35
Auswertung der Kurven 44
a) Empfindlichkeit - Vergleich 44
b) Kontrast - Vergleich 44
c) Grau- bzw. Grundschleier - Vergleich 46
2. Intensitätsskala-Kurve (Absorptionskurve) 46
Erklärung zur grafischen Darstellung 47
Auswertung der Kurven 55
a) Empfindlichkeit - Vergleich 55
b) Kontrast - Vergleich 55
c) Grau- bzw. Grundschleier - Vergleich 58
Vergleich der Versuchsreihen "Zeitskala" - "Intensitätsskala" 58
3. Vor- und Nachteile der beiden Versuchsreihen 59
Zeitskala-Kurve 59
a) Vorteile 59
b) Nachteile 59
Intensitätsskala-Kurve 6o
a) Vorteile 6o
b) Nachteile 6o
4. Konturenschärfe 6o
5. Auflösungsvermögen - mit Hilfe eines Goldrasters 66
Weitere Eigenschaften der Filme, die sich während der Untersuchungen herausstellten 68
IV. DISKUSSION 69
V. ZUSAMMENFASSUNG 72
VI. LITERATUR-VERZEICHNIS 73
VII. ANHANG 77

E I N L E I T U N G

Mit zunehmender Kenntnis der biologischen Wirkungen ionisierender Strahlen hat der Strahlenschutzaspekt in der Röntgenologie an Bedeutung gewonnen.

Nach § 22 der Röntgenverordnung von 1973 hat "die Anwendung von Röntgenstrahlen so zu erfolgen, daß die Strahlenbelastung der zu untersuchenden oder zu behandelnden Person so gering wie möglich gehalten wird."

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Erfüllung dieser Forderung wäre die Verwendung von Filmen größtmöglicher Empfindlichkeit, d. h. von Filmen mit geringer Expositionsdauer. Allerdings soll dabei die Bildqualität kaum oder gar nicht gemindert werden.

Der Gedanke für die folgenden Untersuchungen kam durch die oft fehlleitende Propaganda einzelner Filmhersteller, die ihren Film als "noch schneller, d. h. geringstmögliche Strahlendosis für Ihren Patienten" darbieten. (6o)

Es sollte daher jeder Film, der von der Industrie als "noch empfindlicher" angepriesen wird, kritisch auf seine Aussagemöglichkeit, d. h. für die Diagnose wichtige Bildqualität hin, untersucht werden und im Falle eines besseren Ergebnisses dem "alten" Film vorgezogen werden.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Überprüfung der Bildqualität von drei Zahnröntgenfilmen, die von ihren Herstellern in der Empfindlichkeit sämtlich als höchstempfindlich eingestuft werden. Das würde bedeuten, daß alle drei Filme bei gleichen Belichtungsbedingungen gleiche Ergebnisse zeigen müßten.

Um das zu überprüfen, wurden die Filme auf ihre chemisch-physikalischen Eigenschaften untersucht.

ALLGEMEINER TEIL

A. Strahlenbelastung bei Röntgenaufnahmen der Zähne

Walkhoff - von Glenner (12) zitiert - der die ersten Röntgenaufnahmen von Zähnen 1895 angefertigt hat, benötigte Expositionszeiten von 2o bis 3o Minuten. Wenn heute für Zahnaufnahmen Belichtungszeiten von 1 Sekunde und weniger benötigt werden, ist dies neben apparativen Verbesserungen im wesentlichen auf entscheidende Weiterentwicklungen des Aufnahmematerials zurückzuführen.
Während in der Anfangsära der Röntgenologie eine Verbesserung des Aufnahmematerials nach technischen Gesichtspunkten gewertet wurde, tritt in den letzten Jahren auch der Strahlenschutzaspekt stärker hervor.

In der zahnärztlichen Röntgenologie wird von Sonnabend (45), Jung (17), Shawkat (41), Etter (8), Nolan (3o), Richards (37), Zimmer - Brossy (57) und Kruse (2o) die Verwendung höchstempfindlicher Filme gefordert, um die Strahlenbelastung herabzusetzen.

Über die Dosiswerte, die bei einer Zahn-Röntgenaufnahme auf der Haut bzw. an den Gonaden gemessen werden, liegen sehr unterschiedliche Angaben vor. (s. Tab. 1) Das resultiert aus den unterschiedlichen Versuchsanordnungen, nämlich verschiedene kV-Zahl, Film-Haut-Abstand und Filterung.

Autor und Jahreszahl	Bedingungen - wenn angegeben	Gemessene Haut-oberflächendosis	Gemessene Gonaden-dosis
Fitzgerald, G.M. (1947)	Strahlendosis-Werte in mR/Aufnahme angegeben.		ohne Filterung 9 - 88 mR/Aufn.
	65 kV		mit Filterung 3 - 64 mR/Aufn.
	unterschiedliche Röntgengeräte		
	unterschiedliche Filterungen		
Nolan, W.E. (1953)	unterschiedliche kV-Werte	35 - 315 R	
Internationaler Radiologen-Kongreß Kopenhagen (1953)	5o - 6o kV	42 - 7o R	
Keller u. Pöschl (1955)		2,5 - 3 R/Aufn.	
Spear (1955)	7 inch Fokus-Haut-Abstand 65 kV	8,72 R/Aufn.	
	+ unterschiedliche Filterung (1mm Al)	3,38 R/Aufn.	
	15 inch Fokus-Haut-Abstand	2,18 R/Aufn.	
	+ Filterung von 1 mm Al + 7o kV	1,23 R/Aufn.	
Budowsky (1956)	65 kV unterschiedliche Meß-regionen am Kopf	77 R	
Baily (1957)	6o kV unterschiedliche Filterungen	8 - 23 R	
Blackman u. Greening (1957)	6o kV	26 R	
Stanford u. Vance (1957)			o,3 R bei Frauen/Status o,5 R bei Männern/Status
Bjärngard (1959)	6o kV	26 R	
Paerschke (1964)			im Molarengebiet pro Aufn. o,1o6 R bei Frauen o,118 R bei Männern
Sonnabend, E. (1966)		o,5 - 2,7/Aufn.	
Frey u. Wuehrmann (1974)	Strahlendosis-Werte in mR/Aufnahme angegeben	bei 9o kV, 16,5 inch distance = 164,52 mR	
	unterschiedliche kV-Werte	bei 5o kV, 4,5 inch distance = 479,99 mR	
	unterschiedliche Fokus-Haut-Abstände		
Lee (1974)	Strahlendosis in mR/Aufnahme angegeben unterschiedliche kV-Werte unterschiedliche Filterung (mm Al) unterschiedliche Tubus-Länge unterschiedliche Belichtungszeit	166 mR bei 91 kV; 1,5 mm Al-Fil.; 16 inch Tubus-Länge; o,5 sec Belichtungszeit bis 1249 mR bei 44 kV; 1,5 mm Al-Filterung; 4 inch Tubus-Länge; 2 sec Belichtungszeit	

Tab. 1: Von verschiedenen Autoren angegebene Dosiswerte (Hautoberflächendosis und Gonadendosis)

B. Vergleich eines weniger empfindlichen Filmes mit einem höchstempfindlichen Film

In folgender von R i c h a r d s erstellten Tabelle - von S o n n a b e n d (43) zitiert - wird deutlich, daß die Verwendung eines höchstempfindlichen Filmes eine starke Strahlendosisreduzierung mit sich bringt.

Veränderter Faktor	Änder. in der Belichtungszeit	Herabs.d. Gesichtsdosis in%	Errechnete Streustrahlendosis d. Gonaden(Vermind. in %)	Veränderung im röntgenol. Kontrast
von Radia-Tized- zu Ultra-Speed-Film.	79 % Abnahme	79	79	Geringe Abnahme

Tab. 2: Vergleich zwischen Radia-Tized- und Ultra-Speed-Filmen[1] [S o n n a b e n d (43)]

Dieselben Filmfabrikate wurden von S h a w k a t (41) unter verschiedenen Bedingungen, wie Änderung des kV-Wertes, des Film-Fokus-Abstandes und der Aluminium-Filterstärke, untersucht. (s. Tab. 3)

[1] Beide Filme werden von der Firma Kodak hergestellt. Es wurde auf Anfrage mitgeteilt, daß der Film Radia-Tized in Deutschland nicht mehr im Handel erhältlich sei; der Film Ultra-Speed dagegen "vor ca. 11 Jahren auf den Markt gebracht, erfreut sich seither einem stetig wachsenden Interesse." Allerdings ergibt sich in der Firmenangabe und den Untersuchungen S o n n a b e n d s , 1959 mit dem Ultra-Speed-Film durchgeführt, eine zeitliche Diskrepanz. H e n r i k s o n (15) klassifiziert den Film Ultra-Speed als hochempfindlichen, während er den Film Radia-Tized als weniger empfindlich einstuft.

kV	Filter-stärke (mm)	-Abstand (inches)	Filmtyp	Bestrahlungszeit z.Erreichen d.Schwärzung 2 (sec)	Kontrast (je nach Entfernung Obj.-Film)
65	2.25	8	Radia-Tized Ultra-Speed	2.o o.375	75 - 71 7o - 7o
65	2.25	16	Radia-Tized Ultra-Speed	8.o 1.5	65 - 64 64 - 6o
65	3.25	8	Radia-Tized Ultra-Speed	2.5 o.5	7o - 7o 66 - 66
65	3.25	16	Radia-Tized Ultra-Speed	9.o 1.75	63 - 63 61 - 61
9o	2.25	16	Radia-Tized Ultra-Speed	3.o o.875	65 - 61 6o - 6o
9o	3.25	16	Radia-Tized Ultra-Speed	4.o o.75	57 - 55 58 - 57

Tab. 3: Verschiedene röntgenologische Kontraste entsprechend unterschiedlicher physikalischer Versuchsbedingungen [S h a w k a t (41)]

S h a w k a t s Ergebnisse stimmen also mit denen von R i c h a r d s überein.

Eine weitere Untersuchung dieser beiden Filme bezüglich ihrer Empfindlichkeit wurde von v a n A k e n (1) durchgeführt:

Durchschnittliche Empfindlichkeit	
Radia-Tized	3.2
Ultra-Speed	17

Auch hier zeigt der Film "Ultra-Speed" im Vergleich zu "Radia-Tized" eine Steigerung um das Fünffache.

J u n g (17) untersuchte 7 verschiedene Filmfabrikate hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit. Als Basis wählte er den Film Superdozahn (zu der Zeit noch von ADOX hergestellt), den empfindlichsten der untersuchten Filmtypen, und setzte für diesen Film willkürlich den Belichtungsfaktor 1 fest. Alle anderen Filme unterscheiden sich durch verschieden große Verlängerungsfaktoren.

Film Nr.	Belichtungsfaktor
1	1
2	1.9
3	2.3
4	2.4
5	3.8
6	4.3
7	11.8

Tab. 4: Unterschiedliche Belichtungsfaktoren bei verschiedenen Filmfabrikaten [J u n g (17)]

Dieser Film wurde auch von v. R e c k o w (34) zusammen mit den Filmen Dozahn und Neodent getestet. Es ergab sich ein Empfindlichkeitsverhältnis der Filme Superdozahn : Dozahn : Neodent von 1 : 2 : 4, d. h. auch in dieser Versuchsreihe ist der Film Superdozahn weitaus empfindlicher als die übrigen Filme.

C. Der höchstempfindliche Film - Welche Erwartungen an ihn gestellt werden

Die Anforderungen, die an einen guten Röntgenfilm gestellt werden, sind:

1. hohe Empfindlichkeit
2. guter Kontrast
3. geringfügiger Grauschleier (Klarheit)

[in Anlehnung an (59), (61), (62)]

Der Zahnröntgenfilm unterscheidet sich von den meisten übrigen Röntgenfilmen dadurch, daß er nicht mit Verstärkerfolien kombiniert wird.

Über die weiteren unterschiedlichen Merkmale von Zahnfilm und Folienfilm gibt die folgende Tabelle Auskunft:

	g Ag/m^2	Korn	Schichtstärke in μm	Schichten
Folienfilm	1o	grob	9	2
folienloser Film	2o - 24	fein	14	2
Zahnfilm	2o	fein	12	2

Tab. 5: Vergleich Folienfilm, folienloser Film, Zahnfilm hinsichtlich ihres Aufbaus

Diese Folien werden aus unterschiedlichen Salzen, wie Kalzium-Wolframat, Barium-Blei-Sulfat, Zinksulfid und Zink-Kalzium-Sulfid hergestellt. Während die erstgenannten Salze blaues Licht emittieren, strahlt Zink-Kalzium-Sulfid im grün-gelben Bereich Licht aus.

Jedes einzelne Salzkorn der Verstärkerfolie sendet - entsprechend der absorbierten Röntgenstrahlenmenge - Licht auf die Filmschicht. Diese fluoreszierende Wirkung der Folie steigt proportional mit der Salzschichtdicke. Allerdings muß bei dickeren Verstärkerfolien in Kauf genommen werden, daß sie zwar hochverstärkend, aber mit geringer Bildschärfe arbeiten.

Da es aber in der Zahnmedizin auf die Wiedergabe feinster Strukturen ankommt, scheidet der folienverstärkte Film aus. Zahn-Röntgenfilme haben also eine geringere Empfindlichkeit als folienverstärkte Filme; dieses Minus wird z. T. durch die doppelseitige Beschichtung des Zahn-Röntgenfilmes ausgeglichen. Der Silberreichtum in der Schicht des Zahn-Röntgenfilmes ist größer, wodurch eine Verminderung der Streuung erfolgt (bessere Konturenschärfe). Doppelseitige Beschichtung bedeutet Empfindlichkeits- und Kontraststeigerung um das Doppelte.

1. Empfindlichkeit

Unter höchstempfindlichen Filmen versteht man Filme, die eine kurze Exposition benötigen. Exposition (E) ist das Produkt aus Belichtungszeit (t) und Strahlenintensität (I).

$$E = I \cdot t$$

Es kann also bei der Verwendung eines Filmes dieser Art gegenüber einem Film geringerer Empfindlichkeit entweder der Faktor I oder der Faktor t verkleinert werden. Die Strahlenbelastung wird dadurch vermindert. Eine höhere Empfindlichkeit bringt aber noch einen weiteren Vorteil: Durch die verkürzte Belichtungszeit wird die Bewegungsunschärfe auf ein Minimum reduziert, d. h. die Wiederholung einer mißglückten Aufnahme durch plötzliches Bewegen des Patienten und die damit verbundene erneute Strahlenbelastung werden weitgehend ausgeschaltet.

Höchstempfindliche Filme ermöglichen die Verwendung von Langtubussen, die durch den größeren Fokus-Film-Abstand immer eine längere Belichtungszeit erfordern.

Da die Empfindlichkeit bei gleicher Filmschicht und gleichen Entwicklungsbedingungen - je nach Wellenlänge der benutzten Röntgenstrahlen - unterschiedlich ist, gibt es keine einheitliche internationale Festsetzung wie in der Schwarz-Weiß-Fotografie. Es gibt also keinen Absolutwert für die Empfind-

lichkeit, sondern nur Vergleichswerte. Die Empfindlichkeit ist umso größer, je mehr Strahlen in der Filmschicht absorbiert werden.

Langwellige = weiche Strahlung wird mehr absorbiert als kurzwellige = harte. Entsprechend wird die Empfindlichkeit bei langwelliger Strahlung höher sein als bei kurzwelliger, obwohl die Strahlenintensität, die auf die fotografische Schicht trifft, gleich groß ist.

Nun können hoch- und höchstempfindliche Filme niemals so feinkörnig sein wie geringer empfindliche; außerdem sind ihre Emulsionsschichten kornreicher. Durch die größeren Kristalle einer Filmschicht wird die auffallende Strahlung derart gestreut, daß benachbarte Körner erfaßt werden und die Abbildung einer scharfen Kante (Kontur) verwaschen erscheint. (s. Abb. 1)

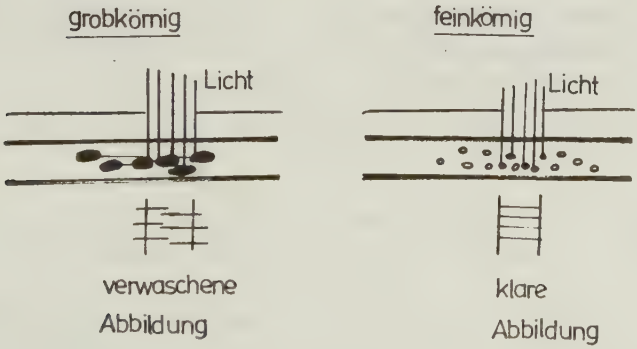


Abb. 1: Einfluß von Körnigkeit auf das Auflösungsvermögen. Bei der grobkörnigen Filmschicht wird das Detail unklar wiedergegeben [in Anlehnung an S o l f (42)]

Es muß deshalb untersucht werden, wieweit eine Streuung der Strahlung zu tolerieren ist. (s. SPEZIELLER TEIL, S. 6o)

2. Kontrast

Eine weitere Forderung an einen guten Zahn-Röntgenfilm ist ein starker Kontrast (gleichbedeutend mit steiler Gradation). Das bedeutet, daß Objekte unterschiedlicher Dichte bzw. Ordnungszahl unterschiedlich grau auf dem Film wiedergegeben werden. Der Röntgenfilm soll den Objektkontrast noch erhöhen.

Wünschenswert ist also die Wiedergabe einer Skala, die von weiß über viele verschiedene Grautöne bis schwarz reicht.

Es entfällt beim Röntgenfilm das sogenannte "Ausgleichsverfahren" der Schwarz-Weiß-Fotografie, bei dem größere Kontraste - trotz eines relativ flachen Negativs - durch Verwendung eines härteren Papiers beim Positivprozeß ausgeglichen werden können. Der Röntgenfilm ist also nach optimaler Entwicklung, Fixierung und Wässerung nicht mehr zu verändern, zumal das Verfahren der Log-etronisierung oder Äquidensitometrie für die Praxis zu aufwendig wäre.

Bei den höchstempfindlichen Filmen muß - im Vergleich zum weniger empfindlichen Film - ein Kompromiß gefunden werden, denn höher empfindliche Filme haben meist eine flachere Gradationskurve (Erklärung s. SPEZIELLER TEIL, S. 22), die zwar einen hohen Belichtungsspielraum zuläßt, aber nur einen geringen Bildkontrast ergibt.

Es ist also die Aufgabe der Filmhersteller, hohe Empfindlichkeit mit steiler Gradation (= hohem γ-Wert) zu vereinigen.

Ein weiterer Nachteil muß bei den höchstempfindlichen Filmen in Kauf genommen werden: Auf Grund der flacheren Gradationskurve sind sie sehr empfindlich gegen Überbelichtung, weil im Bereich höherer Schwärzungen keine Abstufungen mehr unterschieden werden können. Nun ist allerdings dieser "hohe" Bereich - wie Messungen aus der Praxis ergeben haben - nicht von allzu großer Bedeutung, denn es wurden im Rahmen dieser

Arbeit Schwärzungen von o,4 (Metallfüllungen und -brücken) - 1,8 (Interdentalraum) gemessen.
Die Angaben von R i c h a r d s (37) divergieren gering:

o,3	-	o,5	(Füllungen)
2,o	-	2,2	(Gingivaraum)

Der Kontrast ist umso größer, d. h. die Kurve verläuft umso steiler, je dicker die fotografische Schicht ist, weil in einer dickeren Schicht mehr Körner von Röntgenstrahlen getroffen werden als in einer dünnen.

Abb. 2: Einfluß der Filmschichtdicke auf die Kontrastqualität

Da aber Schwierigkeiten beim Entwicklungsvorgang auftreten, indem die Entwicklerflüssigkeit bei einer dicken Schicht längere Zeit benötigt, alle Körner zu erreichen, ist der doppelseitig beschichtete Film dem einseitig dick beschichteten vorzuziehen.

Der Filmkontrast wird durch die Größe γ charakterisiert. Je größer der Wert ist, desto kontrastreicher ist der Film. (s. SPEZIELLER TEIL, S. 22)

3. Grauschleier (= Grundschleier)

Der Grundschleier bezeichnet den Teil der Schwärzungskurve (s. SPEZIELLER TEIL, S.26), in dem keine Belichtung des Filmes erfolgte. Er ist also nur abhängig von der Art der Emulsion. Je nach Reifungsgrad der Filmschicht (d. h. je nach Alter und Lagerungsbedingungen des Filmes) werden Spuren von Silberkeimen durch spätere Einwirkung der Entwicklersubstanz mehr oder weniger reduzierbar gemacht. Daraus folgt, daß ein älterer Film immer einen höheren Schleier aufweist als ein frischer, denn die selbst trocken erscheinende Gelatine enthält immer noch geringe Flüssigkeitsanteile, wodurch der chemische Umwandlungsprozeß in der Emulsion gefördert wird.

S P E Z I E L L E R T E I L

A. Vorbemerkungen

1. zur Densitometrie

"Die Densitometrie (= fotografische Sensitometrie) befaßt sich mit der kurvenmäßigen Darstellung des Vorganges, bei dem die Kontraste eines Objektes bzw. die unterschiedlichen Belichtungszeiten durch die Emulsion eines Filmes in Schwärzungsstufen umgesetzt werden." S o l f (42)

Aus diesem Satz wird deutlich, daß man einerseits zur Bestimmung der Schwärzungskurve (= Filmkurve = Gradationskurve = charakteristische Kurve = Kontrastkurve) ein Aufnahme-Objekt mit verschiedenen Dichten nehmen kann, z. B. einen Graukeil. Dadurch erhält man die sogenannte "Absorptionskurve".

Andererseits kann man Röntgenstrahlen stufenweise auf den Film geben; so erhält man abgestufte Röntgenstrahlenmengen bei gleicher Intensität (gleiche mA, gleiche kV, gleicher Abstand) durch verschiedene Belichtungszeiten pro Stufe. Dadurch wird die "Zeitskala-Kurve" oder "echte Filmkurve" gewonnen.

Die Röntgenstrahlenmengen, die entsprechend der unterschiedlichen Belichtungszeit differieren, werden in R (=Röntgen) gemessen.

In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialprüfung wurde versucht, eine Relation zwischen eingestellten Zeitschalterwerten des benutzten Röntgengerätes und gemessener Dosis in R in verschiedenen Entfernungen Tubusende - Meßkammer herzustellen. (s. Tab. 6)

Einstellwert:	o.1o	o.12	o.16	o.2o	o.25	o.32	o.4	o.5	o.64	o.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3.2	4	5	sec
Meßwert (gemittelt):	o.1o	o.13	o.16	o.19	o.24	o.28	o.37	o.48	o.61	o.75	o.96	1.17	1.43	1.81	2.29	2.79	3.75	4.65	sec

Tab. 6: Relation zwischen Zeitschalterwerten und Dosiswerten in R bei unterschiedlichen Entfernungen Tubusende - Meßkammer

Die geringste und die stärkste Filmschwärzung werden nach V o g l e r (53) mit folgenden Röntgendosen erzielt:

1. Bei einem Film, der von zwei Verstärkerfolien umgeben ist, bewirkt die Dosis von o,ooo8 R eine leichte Schwärzung über dem Grauschleier, d. h., es wird eine Schwärzung S = o,1 erzielt.

2. Bei einem folienlosen Film erzielt die Dosis von o,oo5 R den gleichen Effekt.

3. Die Dosis von o,1 R bewirkt bei einem folienlosen Film eine so starke Schwärzung, daß keine Details mehr zu erkennen sind, d. h., es wird eine Schwärzung S = 1 erzielt.

Die Densitometrie setzt die Schwärzungsgröße S und die Belichtung, die für S nötig war, miteinander in Beziehung.

a) Definition der Schwärzung

Die "Schwärzung für Röntgenfilme ohne Verstärkerfolie" wird vom Deutschen Normenausschuß (Juli 1959) folgendermaßen definiert:

"Als Schwärzung S wird der Zehnerlogarithmus (gewöhnlicher oder Briggscher Logarithmus) des Verhältnisses zwischen der auf den entwickelten Probestreifen auffallenden Lichtmenge (J_o) und der durchgelassenen Lichtmenge (J) bezeichnet, also die Zahl

$$S = \log\left(\frac{J_o}{J}\right)$$

Die Schwärzung (Opazität) wird als Logarithmus der Kehrwerte der an der gemessenen Stelle der Schicht vorhandenen Transparenz ermittelt, wobei man unter Transparenz das Verhältnis der Intensität des durchfallenden Lichtes zur Intensität des auf das Medium auffallenden Lichtes bei durchsichtigen Medien versteht.

$$S = \log\left(\frac{1}{\text{Transparenz}}\right)$$

Diese Messung wird mit Photometern (=Schwärzungsmessern) durchgeführt. Der Logarithmus wurde deshalb eingeführt, weil man die subjektive Helligkeitsempfindung der physikalischen Messung anpassen wollte. Dieser Erkenntnis liegt das Weber-Fechner'sche Gesetz zu Grunde, das besagt, daß die Erkennbarkeit eines Helligkeitsunterschiedes von der Größe des Reizes abhängt:

$$\Delta R \sim R$$

Anders ausgedrückt: Steigen die Reize in geometrischer Reihe, so steigen die Empfindungen in arithmetischer Reihe.

Geometr. Reihe	$1o^0$,	$1o^1$,	$1o^2$,	$1o^3$
d.h.	1 ,	1o ,	1oo ,	1ooo
log	o ,	1 ,	2 ,	3

Tab. 7: Beziehung zwischen geometrischer und arithmetischer Reihe

Es gibt keine arithmetische Einheit für die Schwärzung.
S ist eine Verhältnisgröße.

Beispiel:
Das Licht, das vom Schwärzungsmesser auf den zu untersuchenden Film auftrifft, hat die Intensität J_o, d. h. 1oo Helligkeitswerte. Nach Auftreffen auf den Film wird es durch die jeweilige Filmschwärzung geschwächt, d. h. nur ein kleiner Teil von J_o tritt hindurch. Er möge nur noch 1o Helligkeitswerte betragen und wird entsprechend mit J_{1o} bezeichnet. Dieses Verhältnis von J_o : J_{1o} nennt man Opazität. Da aber im Röntgenfilm Opazitäten bis zu 1o ooo wiedergegeben werden können, ist es verständlich, daß man die logarithmische Einteilung zu Hilfe nimmt und die Schwärzung S in den Stufen 1 - 4 auf dem Schwärzungsmesser ablesen kann, was nichts anderes bedeutet, als die logarithmischen Werte für die Zahlen 1o - 1o ooo (Stufe 1 = 1o, 2 = 1oo, 3 = 1ooo, 4 = 1o ooo). Dementsprechend bedeutet eine Schwärzungszunahme um das Zehnfache einen weiteren Skalenteil auf der Ordinate, eine Zunahme um das Hundertfache zwei Skalenteile usw.

b) Aufbau einer Schwärzungskurve

Bei einer Schwärzungskurve unterscheidet man mehrere charakteristische Abschnitte. (s. Abb. 3)

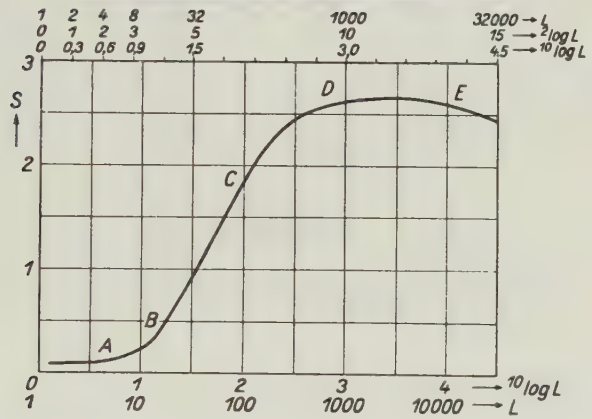


Abb. 3: Schematische Darstellung einer Schwärzungskurve
L = Belichtung A-B = Gebiet des Durchhanges der
S = Schwärzung S-Kurve
vor A = Schleier B-C = Geradliniger Teil der S-Kurve
A = Schwelle C-D = Schulter der S-Kurve
D-E = Maximum der S-Kurve
auf E folgend = Solarisation (Abstieg d. S-Kurve)
[E g g e r t (7)]

Die Kurve verläuft bis zum Punkt A parallel zur Abszisse. Dieser Abschnitt ist die Grundschwärzung oder der Grauschleier, der ohne Einwirkung von Strahlen erfolgte (unbelichteter Film). (Einflüsse auf den Grauschleier s. "Der höchstempfindliche Film", Abschnitt 3, Seite 16)

Der sich dem Punkt A anschließende Teil wird als "Durchhang" bezeichnet und stellt den Bereich der Unterbelichtung dar. Die Schwärzung steigt mit größer werdender Belichtung nur langsam an; kleine Strahlenmengen werden kaum als Schwärzung auf dem Film registriert. Erst oberhalb von B beginnt der eigentliche brauchbare Teil (= gerader Teil = Hauptteil). Hier steigt die Schwärzung gleichmäßig an und ist für die Erkenn-

barkeit von unterschiedlichen Grauabstufungen von großer Bedeutung.

Oberhalb des Punktes C beginnt die sogenannte "Schulter", d. h. die Kurve verläuft wieder flacher, und das Dichte-Maximum ist erreicht. Es schließt sich der Bereich der Überbelichtung an. Ähnlich wie im Bereich der Unterbelichtung werden die Tonwerte geringer differenziert, die Kurve verläuft weniger steil; einem bestimmten Belichtungsintervall steht ein kleineres Schwärzungsintervall gegenüber.

Ist der Hauptteil (der Bereich B - C) steil verlaufend, so werden kaum differierende Helligkeitswerte deutlich abgestuft wiedergegeben, d. h. der Film ist kontrastreich. Als Maß dafür dient der γ-Wert.

c) Definition des γ-Wertes

Man versteht darunter das Verhältnis der Strecken a und b auf der Ordinate und Abszisse, das gleich dem Tangens des Winkels α ist, den die Kurve mit der Belichtungsachse bildet. (s. Abb. 4)

$$\gamma = \frac{a}{b} \qquad \gamma = \tan\alpha \qquad \tan\alpha = \frac{a}{b}$$

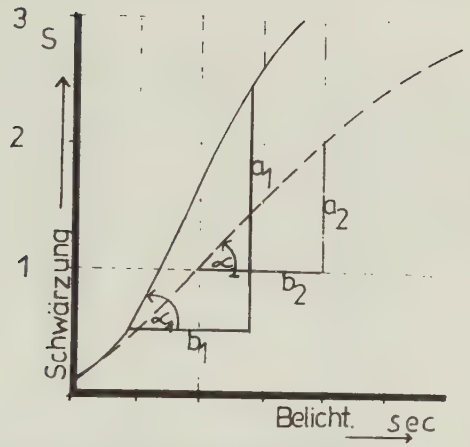


Abb. 4: Zwei Schwärzungskurven unterschiedlicher Kontrastqualität. Der Neigungswinkel (α_2) der gestrichelten Kurve beträgt 45° gegen die Abszisse; das Verhältnis $\frac{a_2}{b_2}$ beträgt 1. In der durchgezogenen Kurve ist der Neigungswinkel (α_1) größer; das Verhältnis $\frac{a_1}{b_1}$ beträgt ≈ 2, d. h. dieser Film gibt die Kontraste doppelt so stark wieder wie der Film, der durch die gestrichelte Kurve [in Anlehnung an V o g l e r (53)] charakterisiert ist.

d) Definition des β-Wertes

Der γ-Wert ist die Steigung des geradlinigen Kurventeils. (s. Abb. 3) Liegt der Punkt, von dem an die Steigung der Schwärzungskurve wieder nachläßt, oberhalb einer Schwärzung von 3,5 , so nimmt man einen anderen Wert zu Hilfe, den β-Wert, da Schwärzungswerte, die größer als 3,5 sind, nicht mehr meßbar sind. Die Gradation wird also nicht auf den maximalen Gradienten, sondern auf den mittleren Gradienten eines bestimmten Belichtungsumfanges bezogen. Dazu wählt man zwei Punkte, die im nutzbaren Bereich der Kurve liegen, z.B. um

den Wert o,5 ober- bzw. unterhalb der Schwärzung 1.

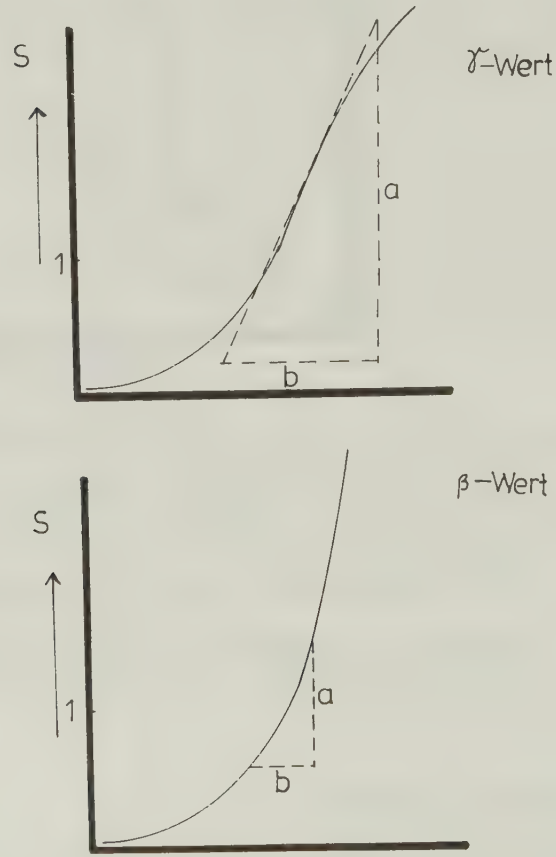


Abb. 5: Bestimmung des maximalen Gradienten Gamma als Kontrastfaktor. Steigung des geradlinigen Teils der Schwärzungskurve [S o l f (42)]
Bestimmung des mittleren Gradienten Beta als Kontrastfaktor [S o l f (42)]. Durchschnittliche Steigung zwischen 2 Punkten, die im nutzbaren Bereich der Kurve liegen, z.B. o,5 Schwärzungseinheiten oberhalb und unterhalb der Schwärzung S = 1.

Zusammenfassend läßt die charakteristische Kurve drei Eigenschaften eines Filmes erkennen:

1. die Empfindlichkeit

Liegt die Kurve im Koordinatenkreuz mehr nach links, handelt es sich um einen empfindlicheren Film, d. h. der Film benötigt eine geringere Belichtungszeit bzw. eine geringere m As-Zahl zur Erreichung einer bestimmten Schwärzung.
Liegt die Kurve mehr nach rechts verschoben, ist der Film unempfindlicher. Film I (s. Abb. 6) ist empfindlicher als Film II.

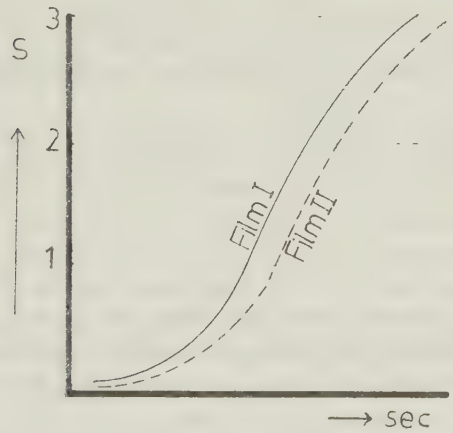


Abb. 6: Kurve zweier Filme mit unterschiedlicher Empfindlichkeit [V o g l e r (53)]

2. den Kontrast

Je steiler die Kurve in ihrem Mittelteil verläuft, d. h. je größer der γ- bzw. ß-Wert ist, desto kontrastreicher ist der Film.
Anders ausgedrückt: Je flacher, d. h. kontrastärmer, die Kurve verläuft, desto größer ist der Belichtungsspielraum für ein kleines dazugehöriges Schwärzungsintervall.

Grauschleier

. ie Grundschwärzung, die jeder Film in unterschied-
Stärke aufweist.

. zur Konturenschärfe - zum Auflösungsvermögen

Konturenschärfe

urde bereits darauf hingewiesen, daß höchstempfindliche
in größeres Korn aufweisen als weniger empfindliche. Der wesentliche Nachteil eines gröberen Korns liegt in dem geringeren Feinzeichnungsvermögen. Es können nur relativ große Details wiedergegeben werden. Auf der anderen Seite weist ein größeres Korn eine geringere Lichtstreuung auf.

Der Begriff "Schärfe", der in der einschlägigen Literatur sehr oft für die Bewertung eines Filmes herangezogen wird, wird von 2 Faktoren bestimmt:

1. von der Größe des Korns und
2. von der Lichtdiffusion.

b) Auflösungsvermögen

Das Auflösungsvermögen ist für die Bewertung der Schärfeleistung das objektivste Maß. Man versteht darunter die Fähigkeit eines Filmes, sehr dünne und dicht beieinanderliegende Testobjekte, wie z. B. Linien, wiederzugeben.

Konturenschärfe und Auflösungsvermögen sind nicht miteinander identisch. Ein hohes Auflösungsvermögen einer Filmschicht kann einerseits durch hohe Konturenschärfe und große Körnigkeit, andererseits aber auch durch geringe Konturenschärfe und extreme Feinkörnigkeit bedingt sein. Wenn also 2 Filme ein gleiches Auflösungsvermögen haben, können sie völlig unterschiedlich in ihrer Konturenschärfe sein.

3. zu den Filmen

Filmanmerkungen

Es handelt sich bei den untersuchten 3 Filmen um höchstempfindliche, doppelseitig beschichtete Filme - alle folienlos. Die Filme bleiben bei allen Versuchsreihen in ihrer Verpackung, d. h. die Testobjekte wie Graukeil, Bleiplatte und Goldraster liegen den verpackten Filmen auf.

Film-Bezeichnung im Text	Film-Marke	Hersteller	Format (in cm)
I	Super Dozahn	Dupont de Nemours	3 x 4
II_1	Emmenix Triple xxx	Minimax	3 x 4
II_2	Emmenix Triple xxx	Minimax	3 x 4
III_1	Pluslight	Rinn	3 x 4
III_2	Pluslight	Rinn	3 x 4

Tab. 8: Verwendete Filme, ihre Hersteller und ihre Bezeichnungen im Text

Bisher gibt es in Deutschland noch keine Unterteilung der Röntgenfilme in Bezug auf Belichtungszeit bzw. -menge. Der Vollständigkeit wegen soll auf die amerikanische "speed"-Gruppen-Bezeichnung hingewiesen werden. (Tab. 9)
("American National Standard Speed Classifications for Intraoral Dental Radiographic Film")[1]
Diese "Speed Values" finden sich in der Schwarz-Weiß- bzw. Farbfotografie heute bereits als DIN- und ASA-Werte.

[1] ANSI PH 6.1-197o, Approved March 3, 197o

DENTAL FILM SPEED-GROUP RATINGS

Film brand	Speed group (A.SA. PH 6.1-1961)		(reciprocal roentgens)
Periapical film			
None	A	slowest	1.5-3.0
DuPont "D"	B		3.0-6.0
Kodak Radia-Tized			
IFI BH 1			
Minimax Intermediate			
Rinn MF			
IFI SBH 1	C		6.0-12.0
Minimax Extra Fast			
Rinn EF			
DuPont "LF"	D		12.0-24.0
IFI UBH-1			
Kodak Ultra-Speed			
✗Rinn Super			
✗Minimax Triplex			
None	E		24.0-48.0
None	F	fastest	48.0-96.0

Tab. 9: Entnommen aus "Guide to Dental Materials and Devices, Fourth Edition, 1968, American Dental Association"

Die amerikanische Einteilungsweise würde die Filme II und III der Gruppe D zuordnen, wobei Gruppe A die langsamste Gruppe wäre, d. h. sie benötigt die längste Expositionszeit; Gruppe D wäre die bisher schnellste.

Diese Einteilung basiert auf folgenden Versuchsanordnungen (lt. Draft International Standard ISO/DIS Intra-Oral Dental Radiographic Film-Specification):

Mindestens 1o Filme desselben Fabrikats müssen unter den gleichen Bedingungen einzeln belichtet werden. Die einzelne Aufnahme muß unter genau definierten Bedingungen entwickelt, fixiert, gewässert und getrocknet werden (63). Es wird der Wert für die Belichtungszeit abgelesen, der der Schwärzung 1 oberhalb des Grauschleiers entspricht. Die Geschwindigkeit leitet sich aus diesem Wert ab, indem der reziproke Wert des abgelesenen Belichtungszeitwertes, gemessen in R, bestimmt

Diese Definition in der Praxis angewandt, zeigt folgende Beziehungen: Ein Film mit einem zahlenmäßig kleinen Belichtungswert hat einen entsprechend hohen reziproken Zahlenwert und wird damit einer alphabetisch endständigeren, d. h. schnelleren Gruppe zugeordnet.

Leider war es für Film I (Super Dozahn) nicht möglich, eine definitive Antwort auf die Frage der Zugehörigkeit zu einer der erwähnten Gruppen zu erhalten. Die Firma teilte auf Anfrage mit, daß der Film an der oberen Empfindlichkeitsgrenze läge und dementsprechend in die erste Kategorie, d. h. in die Gruppe D, eingestuft werden müsse.

Hersteller-Angaben (bei Film II und III aus dem Amerikanischen übersetzt)
Für Film I wurden in der Hersteller-Anleitung keine Spannungs- und Abstandsangaben gemacht; sie wurden an anderer Stelle in der Literatur (61) genannt.

Film I

bei 1o mA, 6o kV, 18 cm Film-Fokus-Abstand

OK	Molar	= o.3 - o.4)	sec
	Prämolar + Eckzahn	= o.2 - o.3)	Belichtungszeit
	Schneidezahn	= o.2 - o.3)	
UK	Molar	= o.2 - o.3)	sec
	Eckzahn + Prämolar	= o.2 - o.3)	Belichtungszeit
	Schneidezahn	= o.2 - o.3)	

Film II

bei 1o mA, 65 kV, 2o cm Film-Fokus-Abstand

OK	Molar	= o.35)	
	Prämolar	= o.25)	sec
	Eckzahn + 2. Schneidezahn	= o.2)	Belichtungszeit
	1. Schneidezahn	= o.25)	
UK	Molar	= o.25)	
	Prämolar	= o.2)	sec
	Eckzahn + 2. Schneidezahn	= o.2)	Belichtungszeit
	1. Schneidezahn	= o.2)	

Film III

bei 1o mA, 65 kV, 2o cm Film-Fokus-Abstand

OK	Molar	= o.3)	
	Prämolar	= o.25)	sec
	Eckzahn + 2. Schneidezahn	= o.2)	Belichtungszeit
	1. Schneidezahn	= o.25)	
UK	Molar	= o.25)	
	Prämolar	= o.2)	sec
	Eckzahn + 2. Schneidezahn	= o.2)	Belichtungszeit
	1. Schneidezahn	= o.2	

Tab. 1o: Von den Herstellern empfohlene Belichtungszeiten

Es ist also keine größere Abweichung in den Empfehlungen der Hersteller zu finden.

Ein wichtiger Hinweis muß zu den Filmen II und III erfolgen: Die grafischen Darstellungen der zeitlich früher erfolgten Versuchsreihen zeigen einen völlig unterschiedlichen Verlauf zu denen, die zeitlich später erfolgten. Da jeweils mehrere Filmpackungen benutzt wurden und der Film I die gleichen Ergebnisse zeigt, muß davon ausgegangen werden, daß die Herstellerfirmen in der Zeit, die zwischen den Versuchsreihen lag, die Filmemulsion geändert haben müssen. Bei Film II ist die Emulsionsänderung offensichtlich mit dem Wegfall des schwarzen Bildrandes erfolgt. Zum Teil liegen Meßwerte und grafische Darstellungen für beide Filmemulsionen vor. Die zeitlich früher erfolgten Versuchsreihen werden mit II_1 und III_1, die zeitlich später erfolgten mit II_2 und III_2 gekennzeichnet.

4. zu den Geräten und Hilfsmitteln

Sämtliche Aufnahmen wurden mit dem "Siemens-helio-dent" gemacht. Die technischen Daten:

Stromstärke 7 mA
Spannung 5o kV
elektronischer Zeitschalter von o.1 - 3.o sec
Eigenfilterung 2 mm Al-Gleichwert
Blende eingebaut: Durchmesser des Nutzstrahlenbündels an der Tubusspitze 6 cm

Bei der Überprüfung des Gerätes durch Mitarbeiter der Bundesanstalt für Materialprüfung ergab sich eine Differenz von - 8 % des tatsächlich gemessenen Zeitschalterwertes zum eingestellten Wert. (s. S. 18)

Graukeile

Es wurden zuerst 3 verschiedene Aluminium-Graukeile angefertigt. Ein Graukeil ist ein mehr oder weniger strahlendurchlässiges (transparentes) Testobjekt mit kontinuierlich oder stufenförmig zunehmenden Schwärzungswerten.

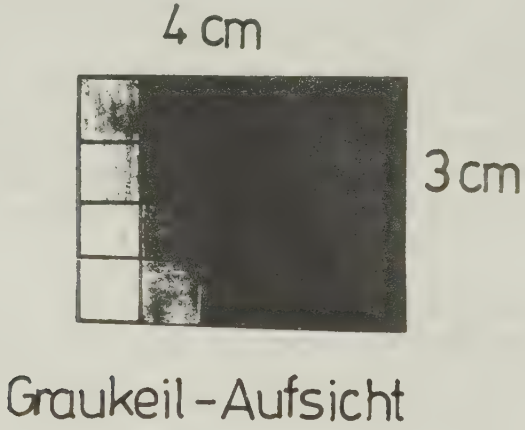


Abb. 7: Graukeil-Aufsicht und Graukeil-Seitenansicht

Der erste Graukeil umfaßte die Stufen 1 - 8, 13 - 16, 29 - 32 plus Bleistufe; der zweite die Stufen von 1 - 12 plus Bleistufe und der dritte die Stufen von 1 - 16 plus Bleistufe. Es stellte sich beim Anfertigen der Diagramme bald heraus, daß nur der letztgenannte Graukeil durch die Kontinuierlichkeit und genügende Anzahl seiner Stufen ausreichend viele Meßpunkte hergab.

Die Stärke einer Aluminium-Stufe beträgt o.5 mm; die Maße des Keils (Länge x Breite) entsprechen denen der verwendeten Röntgenfilme von 3 x 4 cm.

Filmverarbeitung

Die Röntgenbilder wurden vollautomatisch in einer Rollenmaschine (Pantomat P 1o der Fa. Siemens) entwickelt, fixiert und getrocknet.

Die gemessene Temperatur der Entwicklerflüssigkeit betrug 28° C, die der Fixierflüssigkeit $2o^{\circ}$ C und die des Wassers für die Schlußwässerung $2o^{\circ}$ C.

Die Durchlaufzeit eines Röntgenbildes betrug ca. 6 min.

Als Entwicklerflüssigkeit diente "Pantomat A", als Fixierflüssigkeit "Pantomat B", hergestellt von Adefo-Chemie GmbH, Nürnberg.

Schwärzungsmessungen

Die Schwärzungen wurden z. T. mit insgesamt 4 verschiedenen Geräten gemessen:

Gerät 1 Macbeth, Hersteller Quanta log, und
Gerät 2 Cosar 5o, Hersteller Grapho metronic,

wurden von der Fachschule für Optik und Fototechnik, 1 Berlin 1o, Einsteinufer 45, zur Verfügung gestellt.

Gerät 3, Zählgerät der Fa. Wang; Schwärzungsmesser von Quanta log (Verstärker war von Mitarbeitern der Bundesanstalt für Materialprüfung = BAM, 1 Berlin 45, Unter den Eichen 87, eingebaut worden) und Gerät 4, eine aus verschiedenen Verstärker- und Meßeinheiten zusammengesetzte Anlage, wurden in der BAM für Messungen benutzt.

Gerät 1 zeigte im Vergleich zu den übrigen Geräten Schwärzungen um den Wert o.1 höher an. Es wurde bei den zeitlich später erfolgten Messungen nicht mehr benutzt.

Die Messungen mit Gerät 3 stimmen in etwa mit den Messungen der Geräte 2 und 4 überein bis zu einem nachträglich nicht mehr festzustellenden Zeitpunkt, als das Gerät 3 defekt wurde und ungenaue Meßwerte besonders in den Schwärzungsbereichen größer als 2 anzeigte. Auf Grund dieser Tatsachen wurde das Gerät 4 zusammengestellt, dessen Messungen sehr ähnlich denen des Gerätes 2 sind.

Die Streuungen in der grafischen Darstellung finden ihre Ursache hauptsächlich in den verschiedenen benutzten Schwärzungsmessern. Es wurden daher für den definitiven Kurvenverlauf (s. z.B. Abb. 1o) die Meßwerte der Geräte 2 und 4 benutzt. Diese Geräte zeigten auch die geringsten Differenzen bei Messungen derselben Filme zu unterschiedlichen Zeiten. Außerdem hatten sie den Vorteil, daß auch in höheren Schwärzungsbereichen (bis zu 3) noch relativ konstante Meßwerte erzielt wurden. Bei Differenzen zwischen beiden Geräten wurde zugunsten des Gerätes 2 entschieden, weil es in verschiedenen Tests optimale Ergebnisse für einen Schwärzungsmesser zeigte.

B. Versuchsmethodik

1. Zeitskala-Kurve (= echte Filmkurve)

Bei dieser Versuchsreihe wurden kV-Zahl, mA, Filter, Abstand und Entwicklungszeit konstant gehalten; veränderlich war nur die Belichtungszeit pro Stufe.

Zum Anfertigen der Gradationskurven mit konstanter Intensität wurden jeweils 3 Filme einer Sorte hintereinander geklebt, um möglichst viele Meßstufen, d. h. Kurvenpunkte, zu gewinnen. Die Filme I, II und III wurden nebeneinander gelegt, wodurch sie identisch belichtet wurden.

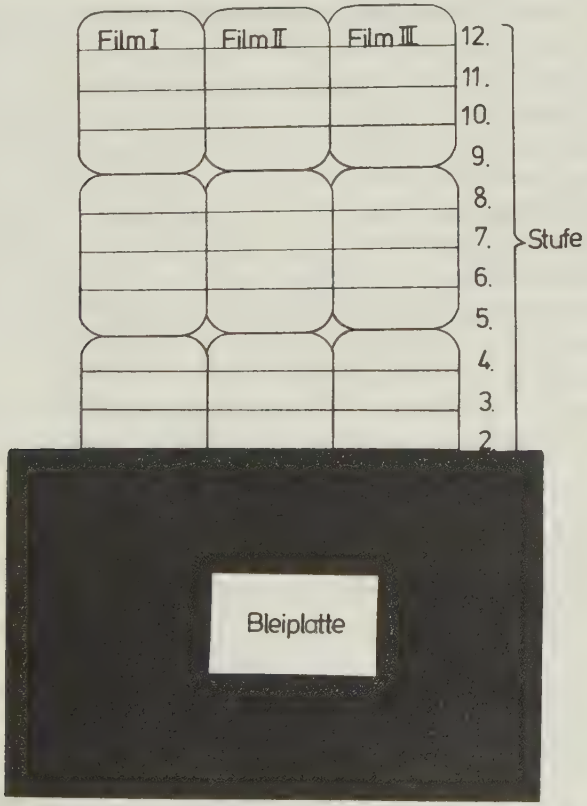


Abb. 8: Vereinfachte grafische Darstellung der Versuchsanordnung zur Gewinnung der Zeitskala-Kurve

Die Filme hatten einen Abstand von 1 m zum Fokus der Röntgenröhre. Es wurde streng darauf geachtet, daß der Zentralstrahl senkrecht die Mitte der Fläche der zusammengeklebten Röntgenfilme traf, um möglichst gleichartige Röntgenstrahlen auf der gesamten Fläche zu erhalten und damit den Heel-Effekt weitgehend auszuschalten. (s. auch S. 6o)

Entstehung des Heel-Effektes [B u c h m a n n (64)]:
"Um eine gute Röntgenstrahlenausbeute und eine hohe Belastung des strahlenden Fokus zu erreichen, wird in den Röntgenröhren die Anode ein wenig schräg gestellt, und zwar so, daß die Neigung der Anode zum Zentralstrahl bei Hochleistungsröhren zwischen 7 und 15°, bei den Dentalröhren etwas größer ist. Das vom Fokus ausgehende Röntgenstrahlenbüschel kann also zumindest zur Anode hin nicht weiter geöffnet sein als es dieser Anodenneigung, also dem Anodenwinkel, entspricht. Jenseits dieses Neigungswinkels könnte nur noch Röntgenstrahlung ankommen, die vorher die Anode durchdringt. Man beobachtet jedoch bereits einen Abfall der Intensität, wenn man mit der Neigung des Strahlenbüschels etwa 3° an die Neigung der Anode herankommt. Diesen Abfall der Strahlung in dieser Richtung bezeichnet man als Heel-Effekt. Der Heel-Effekt kann über die konstruktionsbedingten Gegebenheiten hinaus verstärkt werden, wenn infolge Alterung und starker Belastung die Anode in ihrer Oberfläche rauh wird."

Die 3 mm starke Bleiplatte bedeckte zu Beginn jeder Meßreihe die Stufe 1, so daß dadurch der Grundschleier bestimmt werden konnte (s. Abb. 1o). Nach jeder Belichtung wurde die Bleiplatte eine Stufe weiter höher geschoben. Nach gleichzeitiger Entwicklung der 3 Fabrikate ergaben sich dann verschiedene Schwärzungsabstufungen.

Die Versuche wurden mit unterschiedlichen Belichtungsintervallen je nach Film (II_1 und III_1 z. T. 4 x, I, II_2 und III_2 z. T. 6 x - s. Tabellen im Anhang) durchgeführt, um evtl. Fehler im Zeitschalter des Röntgengerätes weitgehend zu eliminieren. Es wurden zu Beginn der Versuchsreihen auch Belichtungsintervalle gewählt, die entweder nicht genügend [illegible]

gen erzeugten (z. B. o + o.2 ··· sec) oder aber zu große Abstände zwischen den einzelnen Meßpunkten ergaben (z. B. o + o.5 + 1 + 2 + 4 ··· sec). Als ideal stellten sich folgende Belichtungsintervalle heraus:

Versuch 1	
Belichtungszeit	o + o.1 + o.2 + o.4 + o.8 + 1.6 + 3.2 + 6.4 + 12.8 + 25.6 sec
Versuch 2	
Belichtungszeit	o + o.3 + o.6 + o.9 + 1.2 + 1.5 + 1.8 + 2.1 + 2.4 + 2.7 + 3.o + 3.3 + 3.6 sec
Versuch 3	
Belichtungszeit	o + o.2 + o.4 + o.6 + o.8 + 1 + 1.2 + 1.4 + 1.6 + 1.8 + 2 + 2.2 + 2.4 + 2.6 + 2.8 + 3 sec

Tab. 11: Belichtungsintervalle zur Gewinnung der Zeitskala-Kurve

Zu Versuch 1

Hier ergeben sich die größten Streuungen, weil die Belichtungszeiten in relativ großen Abständen erfolgten. Durch die langen Belichtungszeiten wurden sowohl Schwankungen in der Netzspannung als auch Ungenauigkeiten im Zeitschalter des Röntgengerätes als Fehler potenziert. Die Schwärzungen wurden gemessen und in ein Kurvenblatt eingetragen. Zur grafischen Darstellung wurde halblogarithmisches Papier verwendet, d. h. die Abszisse hatte eine logarithmische Einteilung, während die Ordinate Millimeterpapier-Einteilung besaß. Der Grund liegt in der logarithmischen Ablesung der Schwärzungsstufen auf dem Schwärzungsmesser.

Nachdem die Versuchergebnisse von 1 - 3 für jeden Film separat grafisch dargestellt wurden, wurde eine Zusammenfassung der Kurvenverläufe auf einem weiteren Blatt angefertigt. Diese Zusammenfassung gibt also alle Kurvenverläufe der verschiedenen Belichtungsstufen für alle 3 Filme getrennt wieder. Um einen Vergleich zwischen den 3 getesteten Filmen anstellen zu können, wurden aus der Zusammenfassung die Kurvenverläufe gewählt, die die Begrenzung für das Gros der Kurven nach unten und oben bilden. Ein Film wird also nicht durch eine Linie dargestellt, sondern umfaßt ein gewisses Streuungsspektrum, gemäß den verschiedenen Versuchsreihen.

Versuch 1

	+0.1	+0.2	+0.4	+0.8	+1.6	+3.2	+6.4	+12.8	+25.6 s
[illegible]	0.12	0.16	0.24	0.37	0.66	1.14	1.73	-	-
[illegible]	0.12	0.16	0.26	0.42	0.73	1.21	1.87	-	-
0.11	0.12	0.16	0.22	0.38	0.66	1.16	1.89	2.52	2.61
0.10	0.12	0.15	0.22	0.36	0.65	1.16	1.84	2.73	-
0.10	0.12	0.15	0.22	0.39	0.74	1.28	2.02	2.75	2.78
0.11	0.13	0.18	0.26	0.43	0.78	1.34	2.00	2.87	-

Versuch 2

	+0.3	+0.6	+0.9	+1.2	+1.5	+1.8	+2.1	+2.4	+2.7	+3.0	+3.3	+3.6 s
0.12	0.18	0.29	0.45	0.67	0.93	1.17	1.44	1.59	1.83	2.06	2.30	-
0.12	0.17	0.28	0.44	0.67	0.92	1.19	1.47	1.62	1.88	-	-	-
0.12	0.18	0.29	0.49	0.66	0.91	1.18	1.43	1.65	1.86	2.03	-	-
0.09	0.15	0.27	0.45	0.70	0.98	1.24	1.48	1.78	1.97	2.16	2.34	-
0.12	0.16	0.30	0.46	0.66	0.92	1.16	1.39	1.64	1.93	2.13	2.44	2.86
0.10	0.15	0.27	0.45	0.69	0.96	1.22	1.45	1.72	1.92	2.10	-	-

Versuch 3

	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8	+1.0	+1.2	+1.4	+1.6	+1.8	+2.0	+2.2	+2.4	+2.6	+2.8	+3.0 s
0.10	0.13	0.20	0.32	0.46	0.64	0.87	1.10	1.34	1.56	1.72	1.90	2.08	2.26	2.43	2.51
0.10	0.12	0.20	0.33	0.47	0.65	0.86	1.07	1.31	1.54	1.69	1.83	2.04	2.21	2.46	-
0.10	0.13	0.21	0.33	0.49	0.66	0.93	1.07	1.35	1.55	1.75	1.96	-	-	-	-
0.11	0.13	0.20	0.33	0.49	0.71	0.96	1.21	1.44	1.66	1.89	2.39	-	-	-	-
0.14	0.17	0.22	0.33	0.47	0.65	0.87	1.10	1.32	1.51	1.73	1.88	2.06	2.27	2.49	2.69

Tab. 12: Zeitskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film I aus den Versuchen 1, 2 und 3.

Schwärzungsstufen aus den Versuchen 1, 2 und 3 für Film II_1 und II_2 in den Tabellen im Anhang auf Seite 78, für Film III_2 auf Seite 79.
Für Film III_1 Zusammenfassung verschiedener Zeitstufenbelichtungen auf Seite 79.

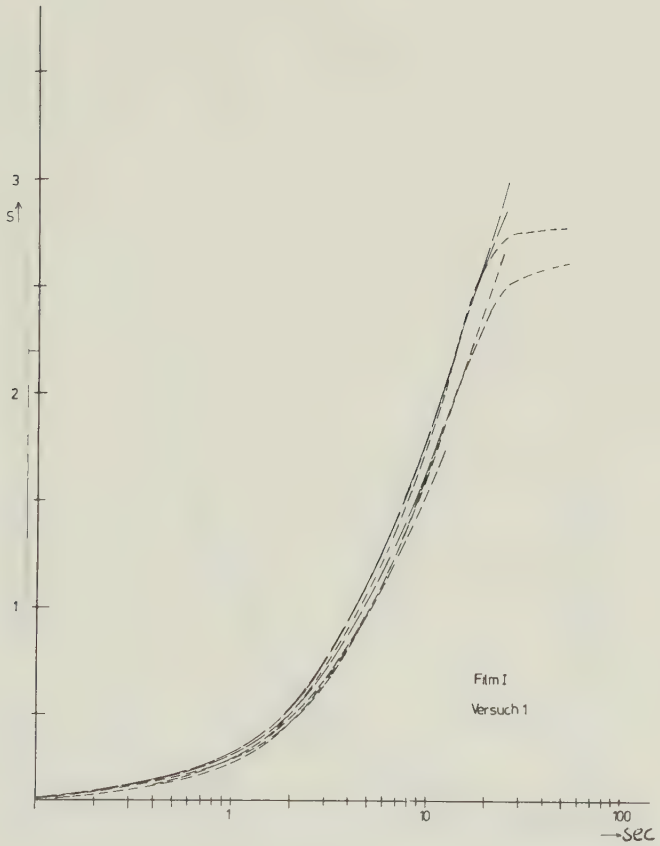


Abb. 9: Zeitskala-Kurve für den Film I, Versuchsanordnung 1. (s. S. 37)

Der Film wurde mit Röntgenstrahlen gleicher Intensität unterschiedlich lange belichtet. Die Belichtungszeiten sind auf der Abszisse logarithmisch aufgetragen, auf der Ordinate sind die Schwärzungswerte aufgetragen. Hierbei entfällt eine nochmalige logarithmische Einteilung, weil die Werte bereits logarithmisch auf dem Schwärzungsmeßgerät abgelesen wurden.

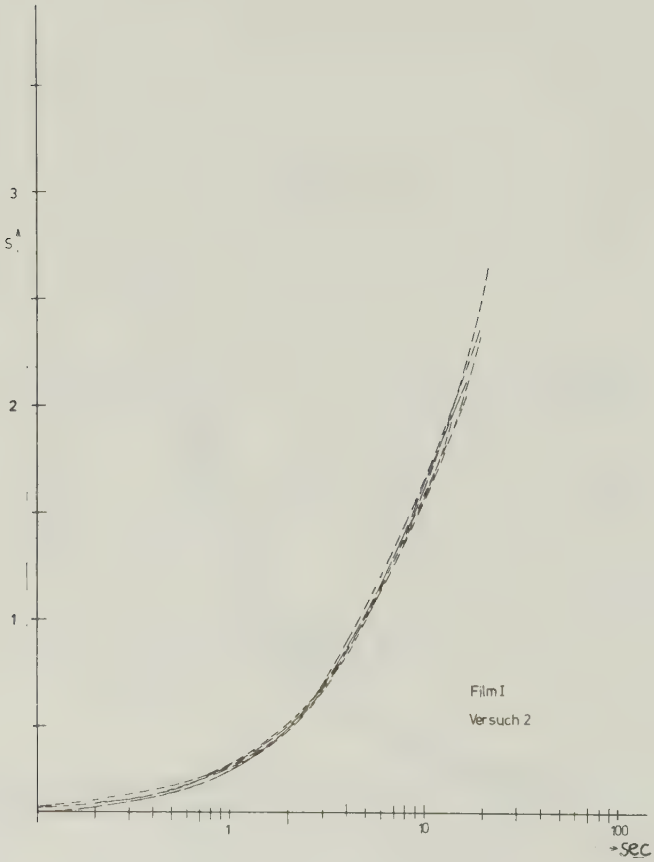


Abb. 1o: Zeitskala-Kurve für den Film I, Versuchsanordnung 2. (s. S. 37)

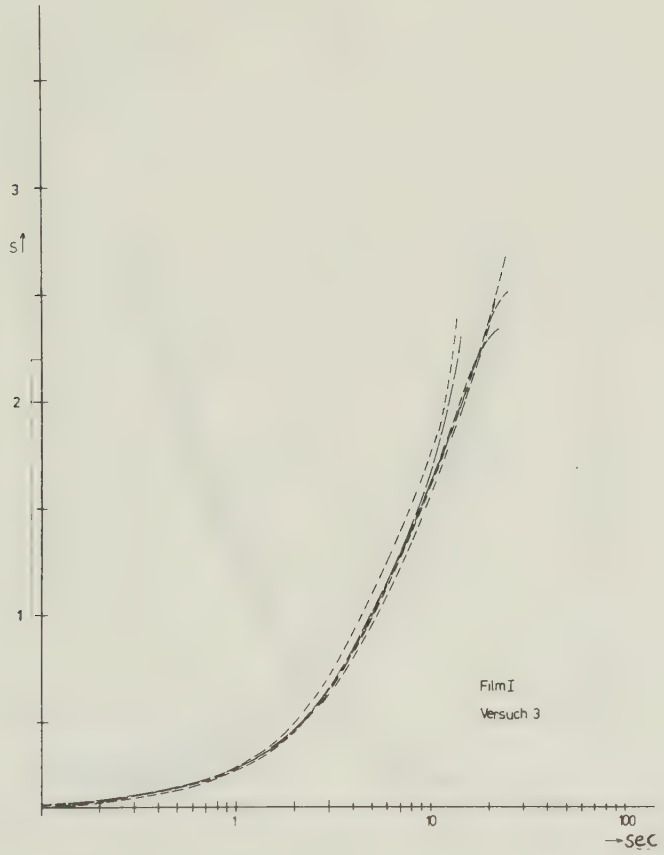


Abb. 11: Zeitskala-Kurve für den Film I, Versuchsanordnung 3. (s. S. 37)

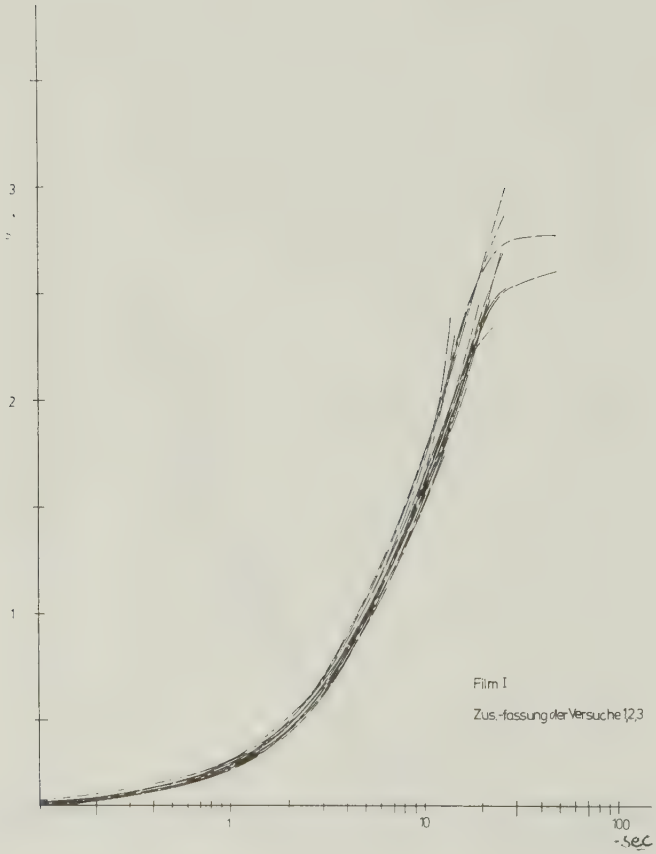


Abb. 12: Zeitskala-Kurve für den Film I. Zusammenfassung der Kurvenverläufe entsprechend der Versuche 1, 2, 3. (s. S. 37)

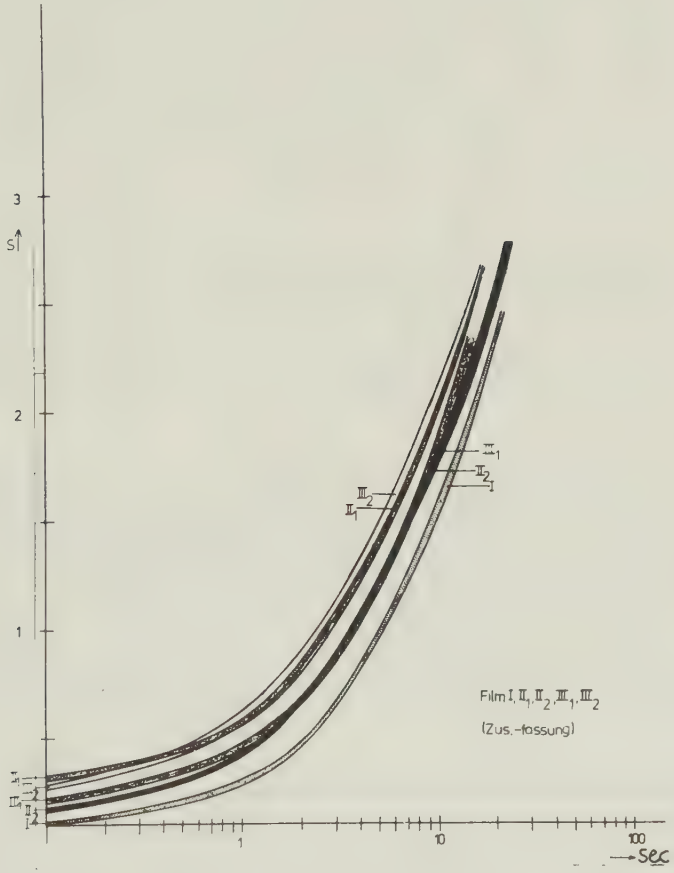


Abb. 13: Zeitskala-Kurve. Zusammenfassung der Kurvenverläufe für alle untersuchten Filme

Es sind dazu die Mittelwerte der Einzelversuche benutzt worden.

Auswertung der Kurven

Es sollen hauptsächlich die Filme I, II_2 und III_2 beurteilt werden; die Filme II_1 und III_1 werden teilweise erwähnt. Für sie konnten nicht genügend Versuchsreihen angefertigt werden, weil ihre Emulsionen nur kurze Zeit zur Verfügung standen und daher nicht in die Mehrheit der Versuchsreihen mit eingehen. Ihre gemessenen Werte haben für eine endgültige Beurteilung eine zu große Streuung.

a) Empfindlichkeit - Vergleich (Abb. 13)

Laut Definition (s. S. 25) ist derjenige Film am empfindlichsten, der am weitesten links im Koordinatenkreuz liegt. Werden die Filme I, II_2 und III_2 betrachtet, so ist der Film III_2 am empfindlichsten, gefolgt von II_2 und I.

b) Kontrast - Vergleich (Abb. 13)

Die Schwärzungskurven verlaufen in etwa parallel zueinander, nähern sich allerdings im hohen Schwärzungsbereich.
Da die Kurven von höchstempfindlichen Röntgenfilmen sehr steil verlaufen (s. S. 25) und der Punkt, von dem an die Steigung der Schwärzungskurve wieder nachläßt, meistens bei Werten um S = 3 liegt, kann nur der ß-Wert als Richtgröße für einen Kontrastvergleich dienen. Eine γ-Wert-Bestimmung ist nicht möglich.

Für die Strecke b (s. Abb. 4) wird der Abszissenabschnitt von "o.2" bis "15" sec gewählt. Durch diese willkürlich gewählte Strecke wird ein Bereich für die Kontrastbestimmung gewonnen, der über dem Grauschleier aller getesteten Filme liegt (wie allgemein in der einschlägigen Literatur gefordert).

Diese Strecke umfaßt ein relativ großes Spektrum der Gradationskurve.
b ist eine konstante Größe.

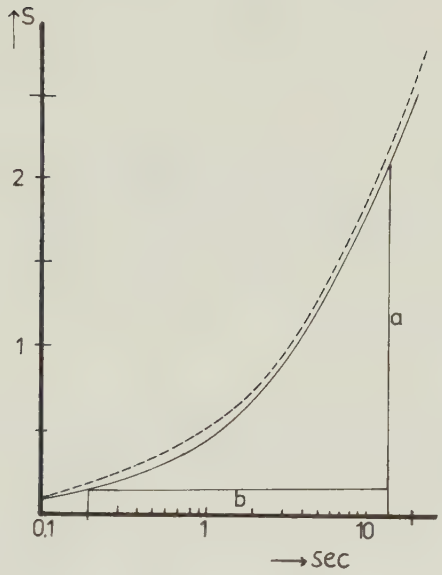


Abb. 14: Grafische Darstellung zur Bestimmung des ß-Wertes für die Zeitskala-Kurve

Die Strecke b verläuft von Punkt o.2 bis Punkt 15 auf der Abszisse; die Strecke a läßt sich für jede Filmkurve entsprechend ablesen. Der ß-Wert ist das Verhältnis von a zu b.

Entsprechend der Streuungsspektren, die sich beim Anfertigen der Kurvendiagramme ergaben, wurden für jeden Film zwei ß-Werte gemessen:

Erster ß-Wert bestimmt aus der unteren, d. h. näher zur Abszisse hin gelegenen Kurve.

Zweiter ß-Wert bestimmt aus der oberen, d. h. von der Abszisse weiter entfernt gelegenen Kurve.

Film	$ß_1$-Wert	$ß_2$-Wert
I	18o : 168 = 1,o7	187 : 168 = 1,11
II_2	193 : 168 = 1,14	2o4 : 168 = 1,21
III_2	215 : 168 = 1,27	223 : 168 = 1,32

Tab. 13: ß-Werte der untersuchten Filme (Zeitskala-Kurve)

In dieser Versuchsreihe weist Film III_2 den größten Kontrast auf, gefolgt von Film II_2 und I. Allerdings ist die Differenz zwischen den einzelnen Filmen sehr gering, wenn berücksichtigt wird, welche Differenz zwischen dem 1. und 2. ß-Wert besteht.

c) Grau- bzw. Grundschleier - Vergleich (Abb. 13)
Film I zeigt den geringsten Grauschleier. Die Mehrheit der gemessenen Werte liegt bei o.1o.
Film II_2 hat einen Grauschleier von o.16 bis o.17, gefolgt von Film III_2 mit einem Grauschleier von o.25 bis o.27.
Sehr unterschiedliche Werte zeigen die Emulsionen von II_1 und III_1 im Vergleich zu ihren "Nachfolgern".
II_1 hat einen besonders hohen Grauschleier mit o.32 bis o.35.
III_1 liegt bei o.2o bis o.23.

Da eine unterschiedliche Entwicklung einen großen Einfluß auf den Grauschleier hat, muß zu den o.g. Werten der Hinweis erfolgen, daß alle Filme vollautomatisch im "Pantomat P 1o" entwickelt, fixiert und getrocknet wurden.

2. Intensitätsskala-Kurve (Absorptionskurve)
Bei dieser Art, die charakteristische Kurve für einen Film zu erhalten, wird der Faktor der Zeitregler-Ungenauigkeit und der Netzspannung-Schwankungen bei längerer Belichtungszeit weitgehend ausgeschlossen.

Es findet eine einmalige Exposition des Filmes mit Röntgenstrahlen statt. Durch das Aufliegen des Graukeils auf dem Film lassen verschiedene Dichten (gegeben durch die Stufen 1 bis 16 plus Bleistufe) unterschiedliche Röntgenstrahlenmengen auf den Film auftreffen.
Die Schwärzungen der 17 Felder wurden gemessen und in ein Kurvenblatt mit Millimetereinteilung eingetragen.

Erklärung zur grafischen Darstellung (s. Abb. 15 - 19)
G bedeutet Grundschleier, gegeben durch die Bleistufe des Graukeils. Da die letzte Stufe des Graukeils die Stärke von nur 16 · o,5 mm = 8 mm Aluminium hat, ergibt sich eine Differenz bis zum Erreichen der Bleidichte, die Strecke G bis 16. Es läßt sich technisch nicht realisieren, einen Graukeil anzufertigen, der die weiteren Stufen von 16 (= 8 mm Aluminium) bis zum Erreichen der Bleidichte in kontinuierlicher Folge aufweist. Die Strecke G bis 16 ist also nicht durch Meßpunkte manifestiert, sondern nur eine Verlängerungslinie der übrigen Kurve über 16 hinaus.

Mit kürzerer Film-Fokus-Distanz (FFD) oder längerer Belichtungszeit wird der gesamte Film stärker geschwärzt.
Es stellte sich nach dem Anfertigen der Kurvendiagramme zu den ersten Versuchsreihen heraus, daß z. B. eine FFD von 2o cm bei einer Belichtungszeit von o.5 sec nur den Schwärzungsbereich von o.17 (G) bis 1.22 (bei Verwendung des aussondierten 12-Stufen-Graukeils) wiedergibt.

Folgende Versuchsbedingungen stellten sich als geeignet heraus:

Versuch 1:	o.5 sec Belichtungszeit 1o cm FFD
Versuch 2:	1.o sec Belichtungszeit 1o cm FFD
Versuch 3:	1.6 sec Belichtungszeit 1o cm FFD
Zu 1:	Es wird ein Schwärzungsbereich von o.1 bis 2 (je nach Filmart) gewonnen.
Zu 2:	Es wird ein Schwärzungsbereich von o.1 bis 2.8 (je nach Filmart) gewonnen.
Zu 3:	Es wird ein Schwärzungsbereich von o.1 bis 3.3 (je nach Filmart) gewonnen.

Tab. 14: Versuchsanordnungen zur Bestimmung der Intensitäts-skala-Kurve

Die Schwärzungswerte wurden analog der Versuchsreihe für die Gewinnung der Zeitskala-Kurve für jeden Film auf ein eigenes Blatt eingetragen. Danach erfolgte die kurvenmäßige Zusammenfassung aller beteiligten Filme für die entsprechende Belichtungszeit. Es wurden also 3 grafische Zusammenfassungen gewonnen, gemäß den Versuchen 1 bis 3.
Es zeigt sich auch bei dieser Versuchsreihe ein geringes Streuungsspektrum der charakteristischen Filmkurven.

Versuch 1 (o.5 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.11	o.39	o.44	o.48	o.53	o.59	o.67	o.74	o.82	o.9o	1.o1	1.11	1.23	1.39	1.6o	1.78	2.[illegible]
o.1o	o.42	o.44	o.5o	o.54	o.6o	o.66	o.73	o.81	o.92	o.99	1.11	1.23	1.37	1.54	1.74	1.9[illegible]
o.11	o.43	o.46	o.49	o.54	o.62	o.67	o.75	o.81	o.95	1.o1	1.15	1.25	1.43	1.58	1.75	1.92
o.11	o.38	o.41	o.44	o.48	o.57	o.62	o.69	o.74	o.85	o.96	1.o8	1.18	1.38	1.56	1.78	1.93
o.1o	o.41	o.46	o.5o	o.54	o.62	o.7o	o.76	o.83	o.91	1.o5	1.13	1.29	1.44	1.6o	1.83	2.o9

Versuch 2 (1 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.17	o.62	o.67	o.73	o.79	o.93	1.o1	1.o9	1.17	1.31	1.46	1.49	1.59	1.86	2.o5	-	2.[illegible]
o.13	o.63	o.67	o.72	o.79	o.91	o.98	1.o6	1.13	1.28	1.42	1.53	1.66	1.92	2.o4	2.[illegible]	2.[illegible]
o.13	o.61	o.66	o.7o	o.74	o.88	o.94	1.o3	1.11	1.27	1.35	1.49	1.59	1.82	2.o2	2.19	2.42
o.14	o.61	o.65	o.7o	o.74	o.89	o.95	1.o3	1.11	1.26	1.35	1.49	1.6o	1.79	2.o1	2.18	2.4[illegible]
o.15	o.64	o.68	o.72	o.78	o.9o	o.98	1.o5	1.13	1.28	1.4o	1.54	1.65	1.82	2.o4	2.22	2.4[illegible]
o.17	o.63	o.67	o.73	o.79	o.94	1.o1	1.o9	1.16	1.32	1.46	1.47	1.63	1.87	2.o1	-	2.[illegible]

Versuch 3 (1.6 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.15	o.87	o.91	o.96	1.o5	1.25	1.34	1.41	1.53	1.72	1.86	2.o2	2.12	2.43	2.67	2.[illegible]	3.23
o.15	o.88	o.94	1.oo	1.o9	1.24	1.34	1.46	1.5o	1.62	1.84	1.96	2.o6	2.33	2.59	2.[illegible]	3.[illegible]
o.14	o.84	o.92	o.97	1.o6	1.25	1.35	1.44	1.54	1.7o	1.85	2.o1	2.1o	2.37	2.64	2.[illegible]	3.[illegible]
o.16	o.87	o.91	o.97	1.o5	1.24	1.34	1.44	1.52	1.67	1.83	1.96	2.12	2.34	2.55	2.71	3.o2
o.15	o.86	o.91	o.96	1.o6	1.21	1.32	1.41	1.5o	1.67	1.82	1.97	2.11	2.4o	2.57	2.[illegible]	2.[illegible]
o.15	o.87	o.93	o.97	1.o7	1.25	1.34	1.42	1.52	1.71	1.86	2.o1	2.11	2.42	2.6o	2.79	3.[illegible]

Tab. 15: Intensitätsskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film I aus den Versuchen 1, 2 und 3.

Schwärzungsstufen aus den Versuchen 1, 2 und 3 für Film II_2 in den Tabellen im Anhang auf Seite 81, für Film III_2 auf Seite 82.

Schwärzungsstufen aus den Versuchen 1 und 2 für Film II_1 in den Tabellen im Anhang auf Seite 8o, für Film III_1 auf Seite 82.

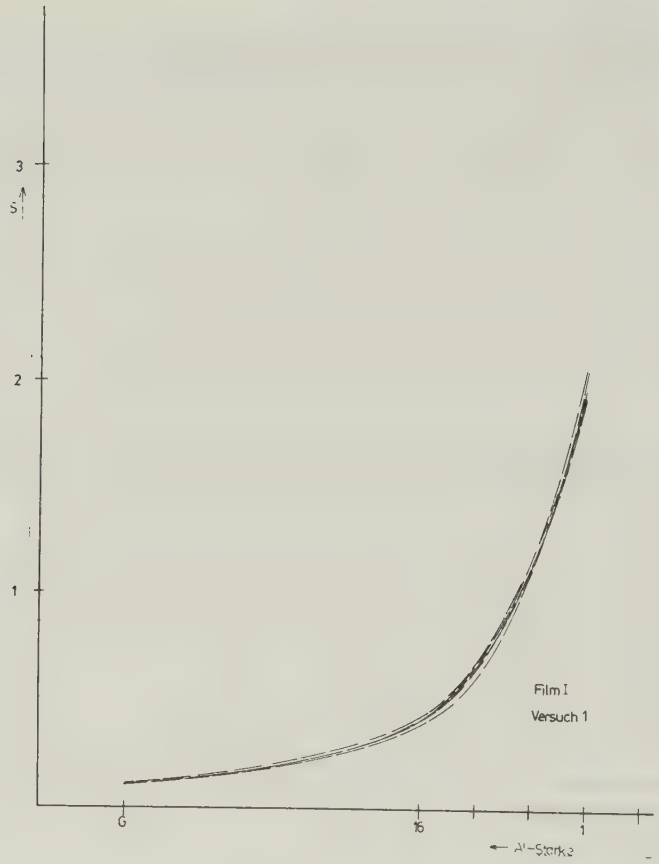


Abb. 15: Intensitätsskala-Kurve (Absorptionskurve) für den Film I, Versuchsanordnung 1. (s. S. 48)

Der Film wurde mit Röntgenstrahlen gleicher Intensität und gleicher Belichtungszeit beschickt; er erhielt jedoch durch die Abdeckung mit einem Graukeil unterschiedliche Röntgenstrahlenmengen pro Graukeilstufe.

G = Graukeil

16= 16 Schichten eines o.5 mm starken Al-Graukeils; die Anzahl der Schichten fällt nach rechts ab.

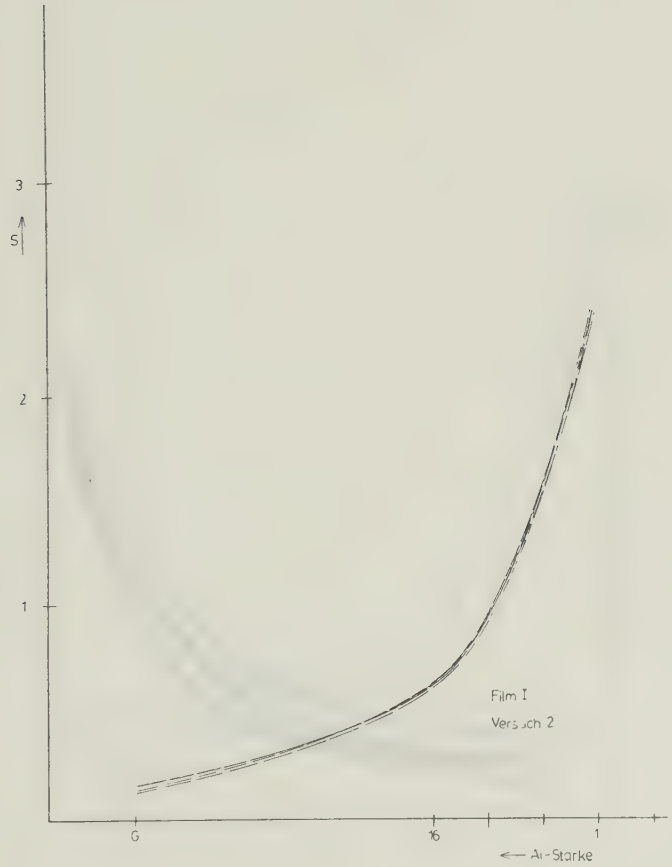


Abb. 16: Intensitätsskala-Kurve für den Film I, Versuchsanordnung 2. (s. S. 48)

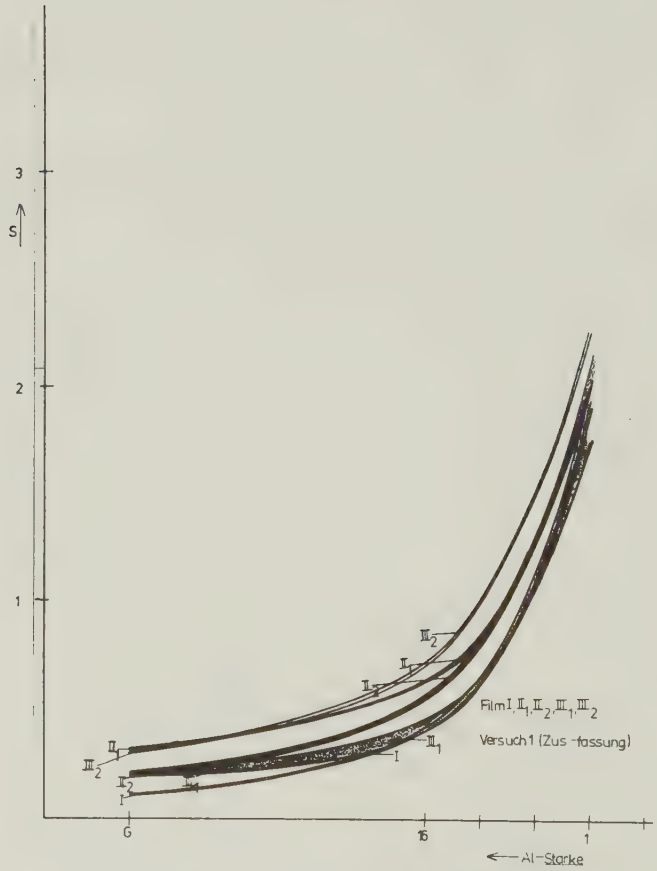


Abb. 17: Intensitätsskala-Kurve. Zusammenfassung der Kurvenverläufe für alle untersuchten Filme gemäß Versuchsanordnung 1. (s. S. 48)

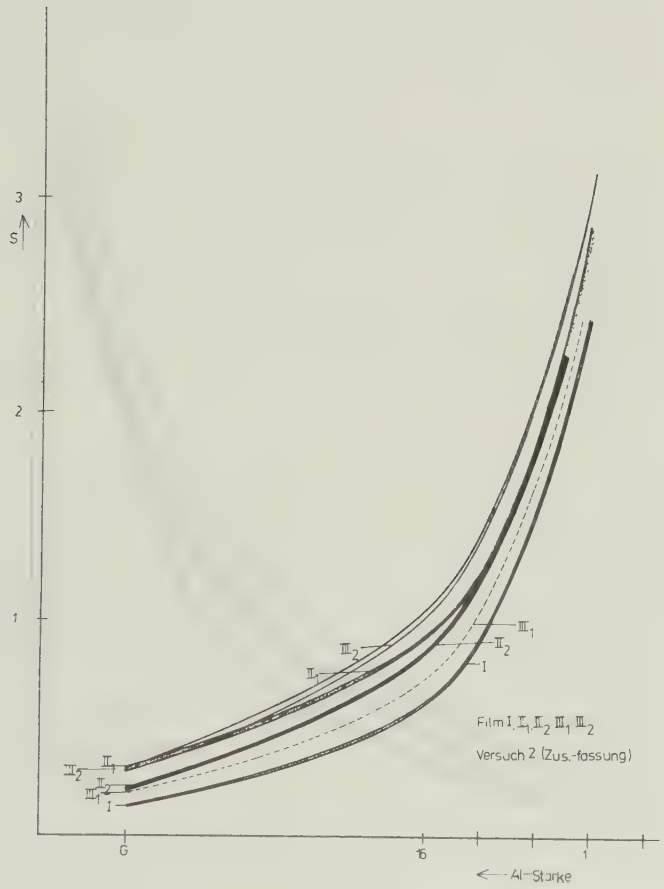


Abb. 18: Intensitätsskala-Kurve. Zusammenfassung der Kurvenverläufe für alle untersuchten Filme gemäß Versuchsanordnung 2. (s. S. 48)

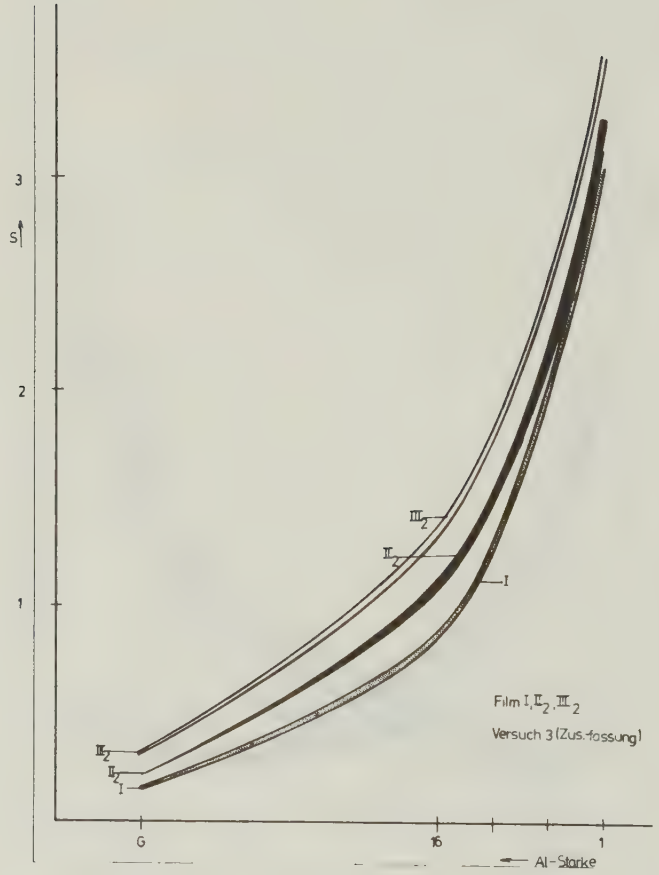


Abb. 19: Intensitätsskala-Kurve. Zusammenfassung der Kurvenverläufe für die untersuchten Filme I, II_2, III_2 gemäß Versuchsanordnung 3.
(s. S. 48)

Auswertung der Kurven

Primär beurteilt werden die Filme I, II_2 und III_2, weil für die Filme II_1 und III_1 nicht genügend Meßwerte gewonnen werden konnten. (Vergl. auch "Zeitskala-Kurve", Auswertung)

a) Empfindlichkeit - Vergleich

Bei dem Vergleich der Filme I, II_2 und III_2 (s. Abb. 17, 18, 19) zeigt der Film III_2 bei allen 3 Versuchen die höchste Empfindlichkeit, gefolgt von II_2 und I. Entsprechend der Versuchsreihe zur Gewinnung der Zeitskala-Kurve nähern sich die Filme im hohen Schwärzungsbereich, was bedeutet, daß Film I mit wachsender Schwärzung in seiner Empfindlichkeit steigt, während Film III_2 entsprechend in seiner Empfindlichkeit nachläßt.

b) Kontrast - Vergleich (Abb. 17, 18, 19)

Es wird auch in dieser Versuchsreihe der ß-Wert bestimmt. Für die Strecke b wird die Entfernung von Graukeil-Stufe 16 zur Graukeil-Stufe 2 gewählt. b beträgt 7 cm. Die Entfernung bis Graukeil-Stufe 1 zu wählen, wäre zu ungenau, weil die dazugehörige Schwärzung in einigen Fällen nicht meßbar war: Sie lag im zu hohen Schwärzungsbereich, in dem die Meßgeräte keine ausreichend zuverlässigen Werte mehr angaben.

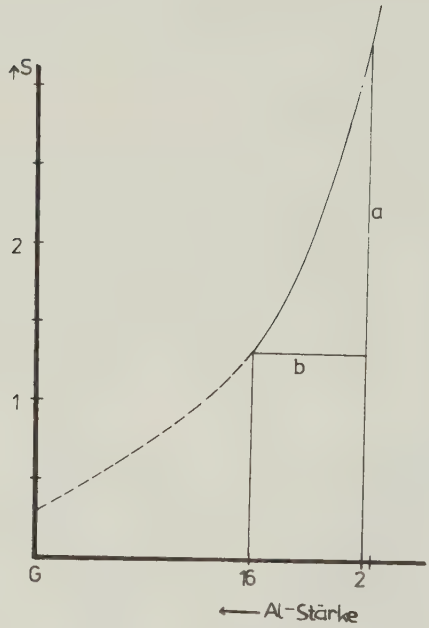


Abb. 2o: Grafische Darstellung zur Bestimmung des ß-Wertes für die Intensitätsskala-Kurve.

Die Strecke b verläuft von Punkt 16 bis Punkt 2 auf der Abszisse; die Strecke a läßt sich für jede Filmkurve entsprechend ablesen. Der ß-Wert ist das Verhältnis von a zu b.

Analog der "Zeitskala-Kurve" die Bestimmung zweier ß-Werte je Film und Versuch:

Versuch 1 (o.5 sec Belichtungszeit, 1o cm FFD) - (s.S.48)

Film	$ß_1$-Wert	$ß_2$-Wert
I	134 : 7o = 1,91	144 : 7o = 2,o5
II_2	137 : 7o = 1,95	144 : 7o = 2,o5
III_2	139 : 7o = 1,98	144 : 7o = 2,o5

Versuch 2 (1.o sec Belichtungszeit, 1o cm FFD) - (s.S.48)

Film	$ß_1$-Wert	$ß_2$-Wert
I	16o : 7o = 2,28	164 : 7o = 2,34
II_2	168 : 7o = 2,4o	174 : 7o = 2,48
III_2	176 : 7o = 2,51	177 : 7o = 2,52

Versuch 3 (1.6 sec Belichtungszeit, 1o cm FFD) - (s.S.48)

Film	$ß_1$-Wert	$ß_2$-Wert
I	194 : 7o = 2,77	199 : 7o = 2,83
II_2	188 : 7o = 2,68	197 : 7o = 2,81
III_2	196 : 7o = 2,8o	2o6 : 7o = 2,93

Tab. 16: ß-Werte der untersuchten Filme (Intensitäts-skala-Kurve)

In den Versuchen 1 und 2 entspricht das Ergebnis dem der "Zeitskala-Kurve": Film III_2 hat den größten mittleren Kontrastwert, gefolgt von Film II_2 und I. In Versuch 3 weist Film III_2 ebenfalls den höchsten Kontrast auf, gefolgt von Film I und Film II_2.

Durch diese Versuchsreihe wird es noch einmal deutlich, wie wenig different die Filme in ihrem Kontrast sind. Es ist also für die Kontrastbewertung schwer, einen Film höher zu bewerten als den anderen.

c) Grau- bzw. Grundschleier - Vergleich (Abb. 17, 18, 19)
Es konnte mit der auf der Al-Treppe angebrachten Bleistufe keine völlige Röntgenstrahlen-Undurchlässigkeit erzielt werden, weil die Bleistärke dazu nicht ausreichte. Wäre eine völlige Abdeckung mit ausreichender Bleistärke erfolgt, müßte der Grauschleier bei den Versuchen 2 und 3 konstant bleiben.

Hinsichtlich der Zahlenwertangabe muß auf die "Zeitskala"-Werte verwiesen werden. (s. S. 46) Den dort genannten Werten kommen die Werte des Versuchs 1 am nächsten:

Film I	o.11
Film II_2	o.2o
Film III_2	o.3o
Film II_1	o.32
Film III_1	o.21

Tab. 17: Grauschleierwerte bei Versuchsanordnung 1 für Intensitätsskala-Kurve

Diese Werte können zum Vergleich der 3 Filme benutzt werden, wenn der Begriff Grauschleier nicht im eigentlichen Sinn gebraucht wird. Es handelt sich also nicht um Absolut-, sondern um Näherungswerte.

Vergleich der Versuchsreihen "Zeitskala" - "Intensitätsskala"
Wie bereits erwähnt (s. S. 35 und S. 46), sind die Versuchsanordnungen zur Gewinnung der Zeitskala- und Intensitätsskala-Kurve verschieden. Während für die Zeitskala-Kurve der gleiche Film entsprechend den Schwärzungsstufen unterschiedlich lange belichtet wird, findet bei der Intensitätsskala-Kurve nur eine einmalige Belichtung des zu untersuchenden Filmes statt und die Schwärzungsstufen werden durch die unterschiedliche Objektdicke (Graukeil) gewonnen. Die Zeitskala-Kurve ergibt eine Filmkurve, deren Form unabhängig von der Strahlenqualität ist, d. h. bei geeigneter Abstimmung der Belichtungszeiten haben alle Kurven

die gleiche Form und Neigung. Die Intensitätsskala-Kurve dagegen gibt für jede Strahlenqualität eine formverschiedene Kurve, d. h. die Kurven der verschiedenen Versuchsanordnungen (s. S. 48) decken sich nicht.

Es ist beim Vergleich der beiden Untersuchungsarten deshalb nicht zu erwarten, daß sich eine Deckung von Zeitskala- und Intensitätsskala-Kurve herstellen läßt, weil bei der Intensitätsskala-Kurve unterschiedliche Belichtungszeiten (s. S. 48) zu verschiedenen Kurvenverläufen führen. Es können direkte Vergleiche der untersuchten Filme nur innerhalb der Versuchsreihe Zeitskala- oder innerhalb der Versuchsreihe Intensitätsskala-Kurve angestellt werden. Darüber hinaus sind die Ergebnisse der Zeitskala- und Intensitätsskala-Kurve durchaus in Relation zu setzen.

Die Aussagen über Empfindlichkeits- und Kontrastvergleich bestätigen sich durch die beiden Versuchsreihen. Was den Grauschleiervergleich angeht, muß auf die nicht vollständige Bleiabdeckung bei der Versuchsreihe für die Intensitätsskala-Kurve hingewiesen werden. Trotzdem zeigen sich auch in diesem Punkt - unter Berücksichtigung der o. g. Einschränkung - in beiden Versuchsreihen äquivalente Ergebnisse.

3. Vor- und Nachteile der beiden Versuchsreihen

Zeitskala-Kurve

a) Vorteile: Es können beliebig viele Meßpunkte gewonnen werden. Im Vergleich zur Intensitätsskala-Kurve ergeben sich mehr Meßpunkte, die über eine größere Strecke verteilt sind.
Je Versuch können alle zu prüfenden Filme zusammen bestrahlt werden, d. h. sie werden unter gleichen Bedingungen behandelt.

b) Nachteile: Die häufige Benutzung des Zeitschalters während eines Versuches birgt einen evtl. Unsicherheitsfaktor. Desgleichen werden eventuelle geringe Schwankungen der Netzspannung im Röntgengerät durch die mehrmalige Benutzung für einen

Versuch verstärkt.
Die Versuchsreihe erfordert mehr Zeitaufwand als die der Intensitätsskala, weil mehrere Bestrahlunger. für einen Versuch nötig sind. Ebenfalls ist der Verbrauch an zu testendem Filmmaterial höher.

Intensitätsskala-Kurve

a) Vorteile: Der Zeitaufwand ist weitaus geringer, wodurch mißlungene Versuche schneller zu wiederholen sind. Bei einem der entsprechenden Größe des Filmformates angefertigten Graukeil genügt ein Film zur Bestimmung der Gradations-Kurve.

b) Nachteile: Durch die Größe des Graukeils sind der Zahl von Meßpunkten Grenzen gesetzt. Diese Versuchsreihe ergibt also weniger Meßpunkte über eine kürzere Strecke verteilt.
Der untere Teil der charakteristischen Kurve (Durchhang) läßt sich praktisch nicht genau bestimmen, weil ein Graukeil mit entsprechend vielen Aluminium-Stufen so groß in seinen Ausmaßen wäre, daß verschiedene Filme aneinandergeklebt werden müßten. Dadurch aber wäre eine gleichmäßige Beschickung mit Röntgenstrahlen bei dem geringen Film-Fokus-Abstand von 1o cm nicht möglich; zentrisch gelegene Filmteile bekämen mehr Röntgenstrahlen als exzentrisch gelegene. (Heel-Effekt) - (s.S.36)

4. Konturenschärfe

Da "Schärfe" bisher nicht international einheitlich definiert ist, sondern von verschiedenen weiteren Einflüssen abhängt (z. B. Belichtungsmenge und Art der Entwicklung), muß für die Beurteilung der Schärfeleistung die subjektive Bewertung der Konturenschärfe zu Hilfe genommen werden.

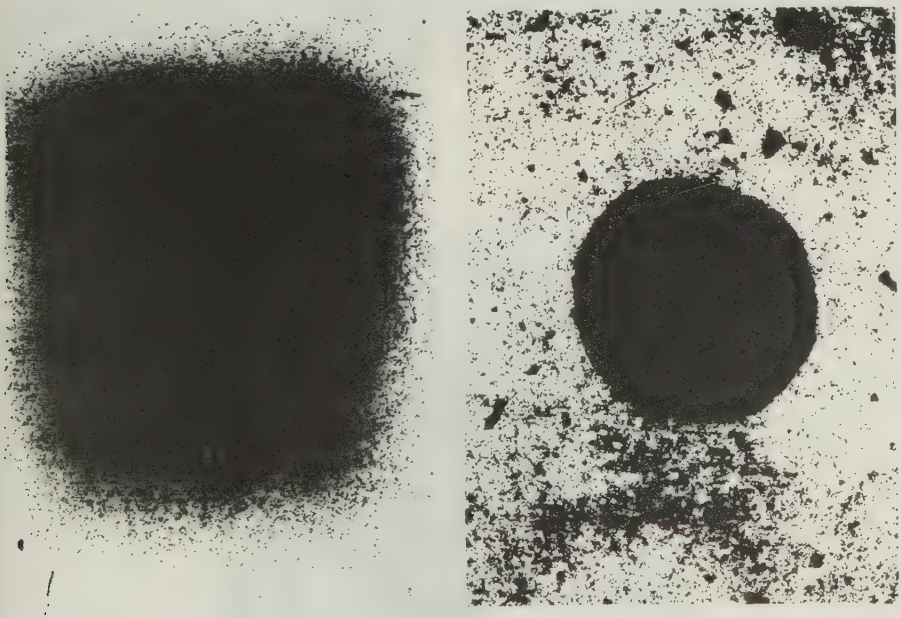
Es gibt für die Konturenschärfe einen von F r i e s e r[1] vorgeschlagenen - mit dem Mikrodensitometer[2] meßbaren - Wert,

[1] von S o l f (42) zitiert

[2] Es steht weder der FFS noch der BAM ein solches Gerät zur Verfügung, so daß derartige Messungen nicht durchgeführt werden konnten.

den K-Wert. Dieser kommt durch folgende Erscheinung zustande: Durch den Einfluß des Diffusions-Lichthofes steigt die Schwärzung nicht - wie man erwarten sollte - sprunghaft an der Stelle an, an der die Kante der Filmschicht aufliegt, sondern sie ist bereits vor der Kante im abgedeckten, unbelichteten Teil vorhanden.

Es wurde eine Bleiplatte mit Öffnung mit einer scharfen Kante auf die betroffenen Filme gelegt und die Filme 1 sec im Film-Fokus-Abstand von 2o cm belichtet. Anschließend wurden die entwickelten Filme mit einer Vergrößerung von 45 : 1 durch das Mikroskop fotografiert.

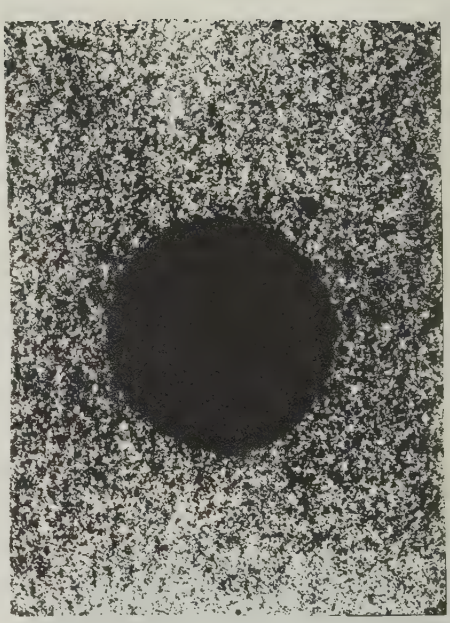


Film I

Film II_2

Abb. 21: Kontaktabzüge der durch das Mikroskop (Vergrößerung von 45 : 1) fotografierten Bleiöffnungen.
(Fortsetzung s. S. 62)

Film III_2



Film II_1

Bei der subjektiven Betrachtung zeigen die Filme III_1 und III_2 einen relativ großen Diffusions-Lichthof, gefolgt von I, II_1 und II_2.

Wäre der Diffusions-Lichthof bedeutungslos, dürfte die Schwärzung der Öffnung in der Bleiplatte nur direkt an der Kante dieser Öffnung sprunghaft ansteigen und nicht bereits im unbelichteten, bleiabgedeckten Teil langsam zum Zentrum hin ansteigen. Dieser Wert, von F r i e s e r[1] als K-Wert vorgeschlagen, ist mit einem Mikrodensitometer meßbar.

Die Kante wird also bei allen Filmen mehr oder weniger verwaschen wiedergegeben.

Um das Ausmaß der Verwaschung für jeden Film zu verdeutlichen, wurden die Kanten mit einer Vergrößerung von 288 : 1 durch das Mikroskop fotografiert.

Film I

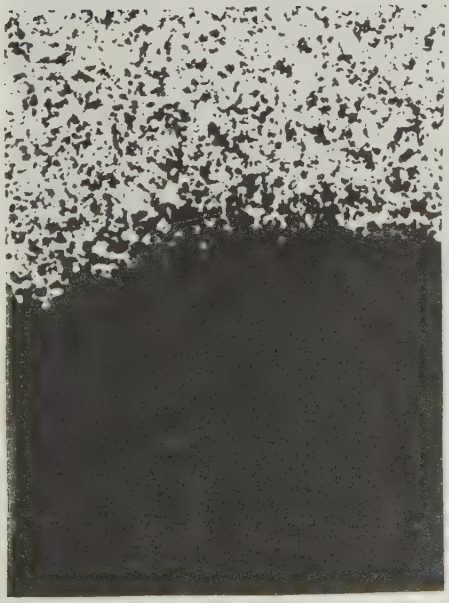
Abb. 22: Kontaktabzüge der durch das Mikroskop (Vergrößerung von 288 : 1) fotografierten Bleiöffnungsausschnitte, aufgelegt auf die Filme I, II_2, III_2, II_1 und III_1. (Fortsetzung s. S. 64 und S. 65)

[1] von S o l f (42) zitiert

Film II_2

Film III

Film II_1



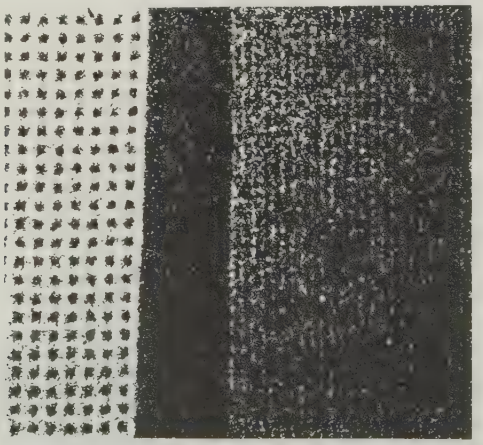
Film III_1

Eine Beurteilung der Kantenverwaschung fällt in etwa für alle Filme gleich aus, wenn man berücksichtigt, daß zusätzlich Belichtung und Entwicklungsart Einfluß auf das Ausmaß der Verwaschung haben.

. Auflösungsvermögen - mit Hilfe eines Goldrasters

Es wurde ein Goldraster (Provisional Resolotion Test Chart - industrial X-Ray Films) verwendet, das aus Rasterzellen mit den Einteilungen 8o, 6o, 4o, 3o, 24, 2o, 15 und 8 bestand; die Zahlen bedeuten Anzahl der Zellen pro mm.

Dieses Goldraster wurde auf die Röntgenfilme, die in ihren Verpackungen blieben, aufgelegt und die Filme mit o.2 sec bei einem Film-Fokus-Abstand von 5 cm belichtet. Nach dem Entwickeln wurden die Filme mit einer Vergrößerung von 25 : 1 durch das Mikroskop fotografiert.

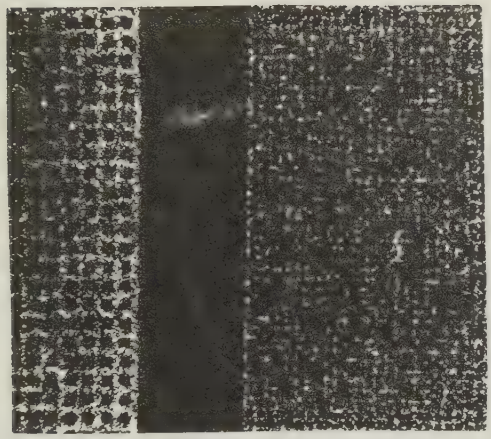


Film I

8 Zellen/mm 15 Zellen/mm

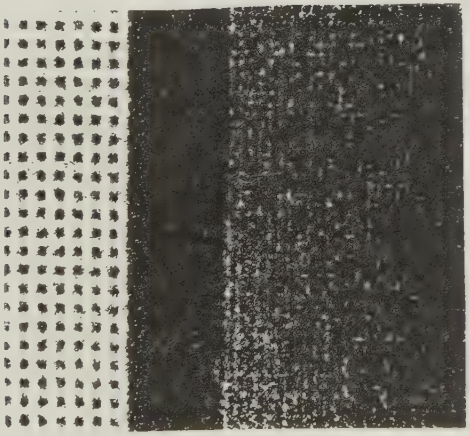
Abb. 23: Kontaktabzüge des durch das Mikroskop (Vergrößerung 25 : 1) fotografierten Goldrasters, aufgelegt auf die Filme I, II_2 und III_2. Es handelt sich um Ausschnittvergrößerungen.

(Fortsetzung s. S. 67)



Film II_2

8 Zellen/mm 15 Zellen/mm



Film III_2

8 Zellen/mm 15 Zellen/mm

Alle 3 Filme (I, II_2 und III_2) zeigen eine klare Auflösung bei 8 Zellen/mm, während das Auflösungsvermögen bei 15 Zellen/mm einheitlich Unschärfe erkennen läßt. Bei 2o Zellen/mm war keine Auflösung mehr zu erzielen.

Weitere Eigenschaften der Filme, die sich während der Untersuchungen herausstellten

Beim Entwicklungs- Fixierungsprozeß zeigten Film III_1 generell, größtenteils auch Film III_2 nach Entnahme aus dem "Pantomat" Schlieren, d. h. die Fixage war bei diesen Filmen nicht ausreichend und zwang jedesmal zum erneuten Durchlauf durch das Fixierbad. Das bei der Entwicklung unreduziert gebliebene Silberbromid wurde also nicht genügend aus der Schicht entfernt bzw. es erfolgte keine Umbildung des schwerlöslichen Silberthiosulfats in ein Komplexsalz, das sich leicht in Wasser lösen läßt. Durch die wiederholte Passage durch das Fixierbad kam es einige Male vor, daß Bilder einen Gelbschleier zeigten und damit unbrauchbar für die densitometrische Auswertung wurden. Viele Versuchsreihen mußten für die o. g. Filme wiederholt werden.

Das konstanteste Verhalten zeigte Film I: bei allen Versuchen war er von gleichbleibender Qualität.

Als negativ zu beurteilen war der Rand des Filmes II_1, weil es durch ihn zu einer Filmformatverkleinerung kam.

D I S K U S S I O N

Die untersuchten Filme I, II_2 und III_2 sind in ihren Qualitätsunterschieden so gering, daß der eine Film nicht generell abzulehnen ist oder der andere Film in allen Punkten optimale Ergebnisse brachte.

Da die Empfindlichkeit nur gering differiert, ist die Strahlenbelastung für den Patienten in etwa gleich.

Im unteren Schwärzungsbereich, wo die Meßwerte für Füllungen, Brücken, Inlays liegen, wäre Film III_2 zu empfehlen. Nun sind aber meist nicht die Füllungen selbst von medizinisch-diagnostischem Interesse, sondern der der Füllung benachbarte Raum, um evtl. Karies festzustellen. Dieser Raum liegt im höheren Schwärzungsbereich, dort also, wo sich die Gradationskurven der 3 Filme nähern. Die Strahlenbelastung ist dementsprechend für den Patienten bei allen 3 Filmen gleich. Wünschenswert ist - wie dieses Beispiel zeigt - ein kontrastreicher Film mit gleichhoher Empfindlichkeit. Nur dann ist es möglich, die evtl. Karies eindeutig von der Füllung und dem gesunden Zahnhartgewebe zu differenzieren.

Die Forderung nach hoher Empfindlichkeit darf die Forderung nach hohem Kontrast nicht ausschließen.

Ein zu hoher Grauschleier sollte ebenso abgelehnt werden, weil durch ihn häufig der subjektive Kontrasteindruck vermindert wird.

Die Untersuchung ergab nicht derartig eminente Differenzen zwischen 2 Filmen, wie sie R i c h a r d s , S h a w k a t und v a n A k e n (Radia Tized - Ultra Speed) oder J u n g und v o n R e c k o w (Super Dozahn - Dozahn - Neodent) in ihren Untersuchungen erzielten (s. Allgemeiner Teil, S. 8). Es ist bemerkenswert, daß in den Jahren, in denen jene Untersuchungen durchgeführt wurden, noch derartige Empfindlichkeitsunterschiede zwischen den im Handel erhältlichen Zahn-Röntgenfilmen bestanden.

Heutzutage sind - nach Auskunft der Filmindustrie - für die nächste Zeit keine Steigerungen der Empfindlichkeit zu erwarten. Im Gegenteil; um die Filme automatenfähig zu machen, wird die Emulsionsstärke vermindert werden und es muß dadurch eine etwas geringere Empfindlichkeit hingenommen werden.

Den Anlaß zu dieser Arbeit gab die z. T. irreführende Werbung der Filmhersteller, die ihre Filme als empfindlicher gegenüber den nicht mehr handelsüblichen bzw. nicht mehr erhältlichen Filmen der "Speed"-Gruppen B und C anpreisen.

Um derartige Werbemethoden und daraus folgende Mißverständnisse ausschalten zu können, müßte in Deutschland eine ähnliche Spezifikation wie in den USA auf der Filmpackung vermerkt sein.

Eine Möglichkeit unter Verwendung der Ergebnisse, die durch die vorliegende Untersuchung gewonnen wurden:

Es wurde eine Röntgen-Dosismessung mit der Ionisationskammer Victoreen 666 entsprechend der Versuchsanordnung von 1 m Abstand Tubus - Meßkammermitte durchgeführt. Für die Zeitstufenbelichtung ergaben sich folgende Werte:

Zeit (s)	gem. Wert (mR)	R/s
o	o.3	
o.1	1.5	o.o12
o.2	2.7	
o.4	4.9	o.o116
o.72	8.2	o.o118
1.12	12.4	o.o114
1.62	18.o	o.o117
2.26	25.o	o.o115

Tab. 18: Röntgen-Dosismessung in mR bei 1 m Abstand Tubus - Meßkammermitte.

Daraus ergibt sich ein Mittelwert von o.o1165 R/s.

Als Beispiel soll die Zeitskala-Kurve mit den Belichtungsintervallen o + o.1 + o.2 + o.4 + o.8 + 1.6 + 3.2 ••• dienen.

Es wird die Belichtungszeit auf der Abszisse abgelesen, die der Schwärzung 1 oberhalb des Grauschleiers entspricht. Dieser Wert wird mit dem ermittelten Wert o.o1165 R/s multipliziert.

			multipliziert
Für Film I	abgelesener Wert	5	o.o5825
Für Film II_2	abgelesener Wert	4	o.o466o
Für Film III_2	abgelesener Wert	3.5	o.o4o775

Der reziproke Zahlenwert erlaubt nun die Zugehörigkeit zu einer einheitlich festgesetzten "speed"-Gruppe. Voraussetzung für die Schaffung eines einheitlichen Systems wäre die Festlegung der Prüfbedingungen, wie

1. Leistung des Röntgengerätes
2. eingebaute Filterung
3. Entfernung Tubus - Testfilm
4. Feuchtigkeit und Temperatur im Prüfraum
5. Temperatur und Zusammensetzung der Entwicklerlösung
6. Zeit der Zwischenwässerung
7. Temperatur und Zusammensetzung der Fixierlösung

und ähnliches.

Es dürfte für die Röntgen-Filmindustrie nicht schwierig sein, diese Prüfbedingungen durchzuführen. Eine Übernahme des amerikanischen Beispiels sollte in Deutschland unbedingt erfolgen, um eine bessere Übersicht über die Qualität der diversen Zahnröntgenfilme zu ermöglichen.

Z U S A M M E N F A S S U N G

In der vorliegenden Arbeit wurden 3 Zahnröntgenfilme (je Filmart ca. 3oo Filme) auf Empfindlichkeit, Kontrast und Grauschleier in 2 verschiedenen Versuchsreihen (Zeitskala-Kurve, Intensitätsskala-Kurve) hin überprüft.

Die Untersuchungen ergaben keine bedeutenden Qualitätsunterschiede zwischen den geprüften Filmen; in den Einzelbewertungen (Densitometrie, Konturenschärfe, Auflösungsvermögen) sind nur geringe Differenzen nachzuweisen:

Der Film III_2, der die höchste Empfindlichkeit und den höchsten Kontrast aufweist, hat aber den höchsten Grauschleier. Andererseits hat der Film I von den 3 untersuchten Filmen die geringste Empfindlichkeit und den geringsten Kontrast, aber auch den geringsten Grauschleier. Er zeigte beim Anfertigen der Kurvendiagramme die geringste Streuung.

Der Film II_2 liegt mit seinen Ergebnissen zwischen Film I und III_2: "mittlere" Empfindlichkeit, "mittlerer" Kontrast, "mittlerer" Grauschleier.

Die beschriebenen Untersuchungsmethoden könnten als Basis für eine zukünftige Filmbewertung dienen, so daß es auch in Deutschland üblich wird, entsprechende Empfindlichkeitshinweise nach festgelegten Normen bereits auf der Filmverpackung zu vermerken.

LITERATUR - VERZEICHNIS

Autoren-Register

1. van Aken, J. — A study of some properties of 23 different dental x-ray films Oral Surg. 15, 133o (1962)
2. Baily, N.A. — Patient exposure to ionizing radiation and dental radiography Radiology 69, 42 (1957)
3. Bjärngard, B. — Radiation doses in oral radiography Odont. Revy 1o, 355 (1959)
4. Blackman u. Greening, J.R. — Radiation hazards in dental radiography Brit. dent. J. 1o2, 167 (1957)
5. Budowsky, J. — Radiation exposure to the head and abdomen during oral roentgenology J. Amer. dent. Ass. 52, 555 (1956)
6. Budowsky, J. — Comparative clinical evaluation of radiographs exposed with films of different emulsion speed Oral Surg. 8, 1o88 (1955)
7. Eggert, J. — Einführung in die Röntgenphotographie S. Hirzel Verlag Zürich 1951, S. 37
8. Etter, L.E. — Radiation Dose Reduction by Higher Voltage Dental Roentgenography J. Amer. dent. Ass. 53, 3o5 (1956)
9. Fitzgerald, G.M. — An investigation in adumbration or the factor that controls geometric sharpness J. Amer. dent. Ass. 34, 1 (1947)
1o. Fitzgerald, G.M. — Dental Roentgenography IV. The Voltage Factor (Kv.p.) J. Amer. dent. Ass. 41, 19 (195o)
11. Frey, N.W. u. Wuehrmann, A.H. — Radiation dosimetry and intraoral radiographic techniques Oral Surg. 38, 639 (1974)
12. Glenner, R. A. — 8o years of dental radiography J. Amer. dent. Ass. 9o, 549 (1975)
13. Gorson, R. O. — A Limited Survey of Radiation Exposure from Dental x-ray Units Radiology 72, 1 (1959)
14. Grob, R. — Zur Frage der Strahlengefährdung in der zahnärztlichen Praxis Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 69, 691 (1959)
15. Henrikson, C.O. — The Speed and Contrast of Dental Films Acta radiol. (Stockh.) 1, 66 (1963)
16. Heuser, H. — Röntgendiagnostik in der zahnärztlichen Praxis Carl Hanser Zeitschriftenverlag München, Wien 1974

17. Jung, T. — Röntgengeräte und Filmverarbeitung
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 215 (1967)

18. Keller, H. L. u. Pöschl, M. — Zahnärztliche Röntgenaufnahmen und Strahlengefährdung
Dtsch. zahnärztl. Z. 1o, 595 (1955)

19. Krüger, E. — Lehrbuch der chirurgischen Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Buch- und Zeitschriftenverlag Die Quintessenz - Berlin 1973

2o. Kruse, D. u. Sonnabend, E. — Zur Strahlenbelastung des Patienten bei extraoralen und Panorama-Röntgenaufnahmen der Zähne und Kiefer
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 729 - 75o (1964)

21. Lee, B. S. — Comparative radiation doses in dental radiography
Oral Surg. 37, 962 (1974)

22. Lehmeier, W. — Der Einfluß der Qualität von Röntgenstrahlen auf die Gradation von Filmen
Inaug. Diss., Erlangen 1953

23. Manson-Hing, L.R. — Kilovolt (Peak) and the Sensitivity of the Very Fast Dental Films
Oral Surg. 12, 979 (1959)

24. Mc Call-Wald,J.O. — Handbuch der klinischen dentalen Röntgenologie
Medica Verlag Stuttgart, Zürich 3. Auflag

25. Medwedeff, F.M. — A new device to reduce patient irradiation and improve dental film quality
Oral Surg. 15, 1o79 (1962)

26. Miller, R. and others — Radiographic Density and Contrast Versus Quantity and Quality of Radiation
Radiology 8o, 688 (1963)

27. Mutter, E. — Kompendium der Photographie Bd. I und Bd. II
Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH Berlin-Borsigwalde 1957

28. Mutter, E. — Die Technik der Negativ- und Positivverfahren
Springer Verlag Wien 1955

29. Nolan, W. E. — Radiation hazards to the patient from oral roentgenography
J. Amer. dent. Ass. 47, 681 (1953)

3o. Nolan, W.E. and Patterson, H.W. — Radiation Hazards from the Use of Dental x-ray Units
Radiology 61, 625 (1953)

31. Paerschke, E. — Strahlungs- und Strahlenbelastungsverhältnisse der praktischen zahnärztlichen Röntgendiagnostik
Habilitationsschrift an der Friedrich-

Schiller-Universität Jena 1964, S. 9, 156, 157

32. Paerschke, E. Röntgenkunde für Stomatologische Schwestern VEB Verlag Volk und Gesundheit Berlin

33. Prange, W. Über die geometrische Unschärfe der intraoralen Röntgenaufnahme Inaug. Dess. FU Berlin 1957

34. von Reckow, J.F. Die Lehren der Zahnröntgen-Aufnahmen für die Praxis Dtsch. zahnärztl. Z. 1o, 216 (1967)

35. Regler, F. Einführung in die Physik der Röntgen- und Gammastrahlen Verlag Karl Thiemig KG München 1967

36. Reiss, K.H. Scattered Radiation and Characteristic Film Curve Radiology 8o, 863 (1963)

37. Richards,A.G. Roentgen Ray Doses in Dental Roentgenography J. Amer. dent. Ass. 56, 351 (1958)

38. Richards,A.G. Roentgen Radiation and the Dental Patient J. Amer. dent. Ass. 54, 476 (1957)

39. Schlungbaum, W. Medizinische Strahlenkunde Walter de Gruyter Berlin, New York 1973

4o. Seifert, H. Möglichkeiten zur Verringerung der Strahlenbelastung bei der zahnärztlichen Röntgendiagnostik (zit. nach Höfling) Dtsch. Stomat. 14, 373 (1964)

41. Shawkat, A.H.L. A quantitative study of scattered radiation fog on low- and high-speed dental roentgenograms Oral Surg. 2o, 42 (1965)

42. Solf, K.D. Fotografie Fischer Taschenbuch Verlag 1971

43. Sonnabend, E. Zahnröntgenaufnahmen und Strahlenbelastung des Patienten Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 181 (1959)

44. Sonnabend, E. Zur Herabsetzung der Röntgendosis bei Kontaktaufnahmen des Schädels Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 319 - 322, 442 (1961)

45. Sonnabend, E. Die Strahlenbelastung des Patienten bei Röntgenaufnahmen der Zähne Stoma (Heidelb.) 15 und 16, 29 (1963) = Habilitationsschrift Göttingen 196o, S. 32, 36, 68, 7o, 74

46. Sonnabend, E. Strahlenbelastung und Strahlenschutz in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Radiologe 6, 32o - 323 (1966)

47. Spear, L.B. — Need for Precaution in Dental Radiograp J. Amer. dent. Ass. 57, 7 (1955)

48. Spiegler, G. — Physikalische Grundlagen der Röntgendiagnostik Georg Thieme Verlag Stuttgart 1957

49. Spiegler, G. — Das Röntgenbild - dosimetrisch betracht Fortschr. Röntgenstr. 8o, 754 (1954)

5o. Spiegler, G. — Schärfe und Auflösungsvermögen im Röntgenbild - alte Vorstellungen neu betrachtet Röntgen-Bl. 7, 386 (1954)

51. Stafne, E. — Oral Roentgenographic Diagnosis 3rd edition, S. 417

52. Stanford, R.W. u. Vance, J. — The Quantaty of Radiation Received by Reproductive Organs of Patient During Routine Diagnostic X-ray Examination Brit. J. Radiol. 28, 266 (1955)

53. Vogler, H. — Hinweise für die Röntgentechnik Heft 1 - 1o Herausgegeben von Agfa-Gevaert, Leverkusen

54. Weyres, T. u. Paulsen, E. — Einführung in die Fototechnik Bd. I Berlin Cram 1952

55. Wuehrmann, A.H. — Relative film speeds of commonly used intraoral films Oral Surg. 12, 1o91 (1959)

56. Wuehrmann, A.H. and Monacelli, C.J. — Selection of Optimum Kilovoltage for Dental Radiography Radiology 57, 24o (1951)

57. Zimmer, E.A. - Brossy, M. — Lehrbuch der röntgendiagnostischen Technik, S. 48, 2. Auflage Springer Verlag Berlin - Heidelberg - New York 1974

58. Sensitometric Properties of X-Ray Films Radiography Markets Division Eastman Kodak Company Rochester, N.Y. 1465o

59. Grundsätzliches zur Röntgenaufnahme Kodak AG, Stuttgart

6o. Werbung der Filmhersteller, z.B. Hager und Werken für "Emmenix" in verschiedenen zahnärztlichen Fachzeitschriften 1974/1975

61. Dupont Dozahn-Fibel 1969, 6. Auflage, S. 51

62. Dupont Dunkelkammer-Technik 1969 von Lieselore Jost und Günther Demuth

63. Draft International Standard ISO/DIS Intra-Oral Dental Radiographic Film-Specification [ISO/TC 1o6 (FDI - 1o) 27o]

64. F. Buchmann im Hause C.H.F.Müller Unternehmensbereich der Philips GmbH Hamburg

Versuch 1

o	+0.1	+0.2	+0.4	+0.8	+1.6	+3.2	+6.4	+12.8	+25.6 s
o.11	o.12	o.16	o.24	o.37	o.66	1.14	1.73	-	-
o.1o	o.12	o.16	o.26	o.42	o.73	1.21	1.87	-	-
o.11	o.12	o.16	o.22	o.38	o.66	1.16	1.89	2.52	2.61
o.1o	o.12	o.15	o.22	o.36	o.65	1.16	1.84	2.73	-
o.1o	o.12	o.15	o.22	o.39	o.74	1.28	2.o2	2.75	2.78
o.11	o.13	o.18	o.26	o.43	o.78	1.34	2.oo	2.87	-

Versuch 2

o	+o.3	+o.6	+o.9	+1.2	+1.5	+1.8	+2.1	+2.4	+2.7	+3.o	+3.3	+3.6 s
o.12	o.18	o.29	o.45	o.67	o.93	1.17	1.44	1.59	1.83	2.o6	2.3o	-
o.12	o.17	o.28	o.44	o.67	o.92	1.19	1.47	1.62	1.88	-	-	-
o.12	o.18	o.29	o.49	o.66	o.91	1.18	1.43	1.65	1.86	2.o3	-	-
o.o9	o.15	o.27	o.45	o.7o	o.98	1.24	1.48	1.78	1.97	2.16	2.34	-
o.12	o.16	o.3o	o.46	o.66	o.92	1.16	1.39	1.64	1.93	2.13	2.44	2.86
o.1o	o.15	o.27	o.45	o.69	o.96	1.22	1.45	1.72	1.92	2.1o	-	-

Versuch 3

o	+o.2	+o.4	+o.6	+o.8	+1.o	+1.2	+1.4	+1.6	+1.8	+2.o	+2.2	+2.4	+2.6	+2.8	+3.o s
o.1o	o.13	o.2o	o.32	o.46	o.64	o.87	1.1o	1.34	1.56	1.72	1.9o	2.o8	2.2o	2.43	2.51
o.1o	o.12	o.2o	o.33	o.47	o.65	o.86	1.o7	1.31	1.54	1.69	1.83	2.o4	2.21	2.46	-
o.1o	o.13	o.21	o.33	o.49	o.66	o.93	1.o7	1.35	1.55	1.75	1.96	-	-	-	-
o.11	o.13	o.2o	o.33	o.49	o.71	o.96	1.21	1.44	1.66	1.89	2.39	-	-	-	-
o.14	o.17	o.22	o.33	o.47	o.65	o.87	1.1o	1.32	1.51	1.73	1.88	2.o6	2.27	2.49	2.69

Tab. 19: Zeitskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film I aus den Versuchen 1, 2 und 3.

Versuch 1

o	+o.1	+o.2	+o.4	+o.8	+1.6	+3.2	+6.4	+12.8 s
o.31	o.33	o.37	o.47	o.77	1.o9	1.56	2.35	3.o7
o.31	o.33	o.37	o.47	o.69	1.o5	1.59	2.27	-
o.33	o.35	o.4o	o.5o	o.71	1.1o	1.62	2.36	2.97
o.35	o.37	o.42	o.53	o.74	1.1o	1.58	2.4o	2.87

Versuch 2

o	+o.3	+o.6	+o.9	+1.2	+1.5	+1.8	+2.1	+2.4	+2.7	+3.o	+3.3	+3.6	+3.9	+4.2	+4.5 s
o.37	o.42	o.58	o.79	1.o1	1.26	1.51	1.74	1.92	2.2o	2.38	2.6o	-	2.91	3.15	3.33
o.33	o.39	o.54	o.75	o.98	1.21	1.45	1.71	1.9o	2.16	2.38	2.63	2.87	2.96	3.o2	-

Versuch 3

o	+o.2	+o.4	+o.6	+o.8	+1.o	+1.2	+1.4	+1.6	+1.8	+2.o	+2.2 s
o.32	o.4o	o.51	o.64	o.85	1.o8	1.33	1.62	1.87	2.11	2.37	2.61
o.35	o.4o	o.49	o.65	o.79	1.oo	1.23	1.47	1.74	1.97	2.19	2.45
o.33	o.38	o.49	o.63	o.84	1.o5	1.28	1.56	1.83	2.o9	2.35	2.51
o.33	. .37	o.47	o.61	o.76	o.96	1.16	1.39	1.7o	1.95	2.68	2.81

Tab. 2o: Zeitskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film II_1 aus den Versuchen 1, 2 und 3.

Versuch 1

o	+o.1	+o.2	+o.4	+o.8	+1.6	+3.2	+6.4	+12.8	+25.6 s
o.16	o.19	o.26	o.34	o.55	o.91	1.41	1.99	2.86	-
o.17	o.2o	o.24	o.34	o.54	o.86	1.34	1.93	-	-
o.18	o.19	o.24	o.35	o.56	o.9o	1.41	2.o7	2.76	2.83
o.18	o.2o	o.28	o.38	o.58	o.9o	1.36	1.95	2.82	-

Versuch 2

o	+o.3	+o.6	+o.9	+1.2	+1.5	+..8	+2.1	+2.4	+2.7	+3.o	+3.3	+3.6	+3.9 s
o.16	o.26	o.43	o.63	o.9o	1.18	1.41	1.65	1.83	2.1o	2.33	2.53	-	-
o.17	o.27	o.42	o.66	o.9o	1.19	1.43	1.65	1.89	2.11	2.35	2.42	-	-
o.17	o.26	o.42	o.64	o.88	1.17	1.43	1.7o	1.82	2.o7	-	-	-	-
o.16	o.28	o.41	o.62	o.88	1.16	1.42	1.65	1.93	2.11	2.29	2.48	2.56	2.79
o.16	o.24	o.39	o.61	o.89	1.17	1.45	1.67	1.97	2.2o	2.4o	2.61	2.66	2.88

Versuch 3

o	+o.2	+o.4	+o.6	+o.8	+1.o	+1.2	+1.4	+1.6	+1.8	+2.o	+2.2	+2.4	+2.6	+2.8	+3.o s
o.16	o.22	o.31	o.47	o.67	o.89	1.13	1.33	1.53	1.76	1.95	2.15	2.27	2.51	2.72	2.88
o.16	o.21	o.31	o.46	o.64	o.87	1.o9	1.33	1.67	1.85	2.oo	2.13	2.39	2.52	2.68	2.77
o.19	o.24	o.34	o.49	o.68	o.9o	1.12	1.34	1.55	1.77	1.92	2.o3	2.35	2.48	2.68	2.78

Tab. 21: Zeitskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film II_2 aus den Versuchen 1, 2 und 3.

Versuch 1

o	+o.1	+o.2	+o.4	+o.8	+1.6	+3.2	+6.4	+12.8	+25.6 s
o.25	o.28	o.35	o.48	o.71	1.16	1.86	2.62	-	-
o.26	o.3o	o.37	o.5o	o.76	1.1o	1.67	2.36	3.14	-
o.29	o.31	o.37	o.49	o.73	1.14	1.7o	2.46	3.15	3.17
o.25	o.29	o.37	o.49	o.73	1.19	1.95	2.71	-	-
o.27	o.31	o.38	o.52	o.76	1.2o	1.77	2.47	3.o9	-
o.28	o.32	o.39	o.53	o.75	1.18	1.91	2.61	-	-

Versuch 2

o	+o.3	+o.6	+o.9	+1.2	+1.5	+1.8	+2.1	+2.4	+2.7	+3.o	+3.3	+3.6	+3.9	+4.2	+4.5 s
o.28	o.38	o.58	o.86	1.11	1.43	1.76	2.o8	2.14	2.45	2.61	2.92	3.14	3.31	3.44	-
o.25	o.36	o.58	o.85	1.11	1.44	1.76	2.o4	2.16	2.46	2.7o	3.o2	3.13	3.37	3.47	-
o.26	o.37	o.58	o.86	1.1o	1.41	1.71	1.98	2.11	2.35	2.59	2.9o	3.o7	3.25	3.35	-
o.25	o.35	o.53	o.82	1.o8	1.37	1.72	2.o5	2.14	2.44	2.88	2.96	3.o2	3.12	3.21	3.34
o.28	o.4o	o.59	o.85	1.14	1.43	1.68	1.9o	2.25	2.47	2.59	-	-	-	-	-
o.27	o.39	o.57	o.84	1.12	1.4o	1.7o	1.94	2.22	2.39	2.63	-	-	-	-	-

Versuch 3

o	+o.2	+o.4	+o.6	+o.8	+1.o	+1.2	+1.4	+1.6	+1.8	+2.o	+2.2	+2.4	+2.6	+2.8	+3.o s
o.29	o.34	o.47	o.64	o.9o	1.17	1.43	1.65	1.82	2.o4	2.26	2.49	2.62	2.78	3.oo	3.17
o.27	o.34	o.46	o.63	o.86	1.13	1.4o	1.61	1.86	2.1o	2.31	2.56	2.59	2.78	3.o1	3.2o
o.27	o.34	o.46	o.62	o.83	1.o9	1.34	1.55	1.65	1.9o	2.11	2.26	2.78	2.94	3.o8	3.25
o.25	o.31	o.42	o.62	o.81	1.o8	1.31	1.53	1.73	1.98	2.15	2.4o	2.54	2.75	2.87	3.o1
o.23	o.29	o.42	o.6o	o.83	1.o9	1.37	1.68	1.96	2.22	2.86	2.94	-	-	-	-

Tab. 22: Zeitskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film III_2 aus den Versuchen 1, 2 und 3.

o	+o.2	+o.4	+o.6	+o.8	+1.o	+1.2	+1.4	+1.6	+1.8	+2.o	+2.2 s
o.19	o.25	o.34	o.48	o.63	o.85	1.o4	1.25	1.49	1.76	1.99	2.23
o.2o	o.25	o.35	o.49	o.66	o.86	1.o7	1.3o	1.53	1.8o	2.o3	2.23

o	+o.5	+1	+2	+4	+6	+8 s
o.22	o.36	o.6o	o.99	1.66	2.5o	3.26
o.23	o.38	o.63	1.o1	1.74	2.51	3.41

o	+o.1	+o.2	+o.4	+o.6	+o.8	+1.o	+1.2	+1.4	+1.6	+1.8	+2.o	+2.2	+2.4	+2.6	+2.8 s
o.2o	o.21	o.28	o.38	o.52	o.71	o.94	1.16	1.39	1.64	1.89	2.o4	2.31	2.5o	2.63	2.72

Tab. 23: Zeitskala-Werte. Zusammenfassung verschiedener Zeitstufenbelichtungen für Film III_1.

Versuch 1 (o.5 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.11	o.39	o.44	o.48	o.53	o.59	o.67	o.74	o.82	o.9o	1.o1	1.11	1.23	1.39	1.56	1.78	2.o7
o.1o	o.42	o.44	o.5o	o.54	o.6o	o.66	o.73	o.81	o.92	o.99	1.11	1.23	1.37	1.54	1.74	1.9o
o.11	o.43	o.46	o.49	o.54	o.62	o.67	o.75	o.81	o.95	1.o1	1.15	1.25	1.43	1.58	1.75	1.92
o.11	o.38	o.41	o.44	o.48	o.57	o.62	o.69	o.74	o.85	o.96	1.o8	1.18	1.38	1.56	1.78	1.93
o.1o	o.41	o.46	o.5o	o.54	o.62	o.7o	o.76	o.83	o.91	1.o5	1.13	1.29	1.44	1.6o	1.83	2.o9

Versuch 2 (1 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.17	o.62	o.67	o.73	o.79	o.93	1.o1	1.o9	1.17	1.31	1.46	1.49	1.59	1.86	2.o5	-	2.42
o.13	o.63	o.67	o.72	o.79	o.91	o.98	1.o6	1.13	1.28	1.42	1.53	1.66	1.82	2.o4	2.22	2.47
o.13	o.61	o.66	o.7o	o.74	o.88	o.94	1.o3	1.11	1.27	1.35	1.49	1.59	1.82	2.o2	2.19	2.42
o.14	o.61	o.65	o.7o	o.74	o.89	o.95	1.o3	1.11	1.26	1.35	1.49	1.6o	1.79	2.o1	2.18	2.4o
o.15	o.64	o.68	o.72	o.78	o.9o	o.98	1.o5	1.13	1.28	1.4o	1.54	1.65	1.82	2.o4	2.22	2.47
o.17	o.63	o.67	o.73	o.79	o.94	1.o1	1.o9	1.16	1.32	1.46	1.47	1.63	1.87	2.o1	-	2.37

Versuch 3 (1.6 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.15	o.87	o.91	o.96	1.o5	1.25	1.34	1.41	1.53	1.72	1.86	2.o2	2.12	2.48	2.67	2.92	3.23
o.15	o.88	o.94	1.oo	1.o9	1.24	1.34	1.46	1.5o	1.62	1.84	1.96	2.o6	2.33	2.59	2.86	3.o6
o.14	o.84	o.92	o.97	1.o6	1.25	1.35	1.44	1.54	1.7o	1.85	2.o1	2.1o	2.37	2.64	2.85	3.o8
o.16	o.87	o.91	o.97	1.o5	1.24	1.34	1.44	1.52	1.67	1.83	1.96	2.12	2.34	2.55	2.71	3.o2
o.15	o.86	o.91	o.96	1.o6	1.21	1.32	1.41	1.5o	1.67	1.82	1.97	2.11	2.4o	2.57	2.73	2.99
o.15	o.87	o.93	o.97	1.o7	1.25	1.34	1.42	1.52	1.71	1.86	2.o1	2.11	2.42	2.6o	2.79	3.o7

Tab. 24: Intensitätsskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film I aus den Versuchen 1, 2 und 3.

Versuch 1 (o.5 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.33	o.65	o.67	o.71	o.74	o.84	o.9o	o.95	1.o1	1.12	1.21	1.32	1.42	1.59	1.72	1.86	2.o5
o.31	o.63	o.65	o.68	o.72	o.82	o.87	o.92	o.98	1.1o	1.17	1.26	1.36	1.52	1.67	1.83	2.o1

Versuch 2 (1 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.3o	o.9o	o.96	o.99	1.o3	1.17	1.27	1.32	1.33	1.53	1.63	1.72	-	2.11	2.19	2.23	2.34
o.31	o.98	1.o9	1.16	1.21	1.3o	1.43	1.56	1.63	1.7o	1.91	2.o7	2.18	2.25	2.49	2.74	2.75
o.3o	o.94	o.99	1.o6	1.12	1.3o	1.37	1.45	-	1.7o	1.85	2.oo	-	2.39	2.57	2.8o	2.98
o.31	o.9o	o.99	1.o2	1.o8	1.21	1.34	1.42	1.48	1.65	1.85	1.99	2.o9	2.38	2.55	2.63	2.75

Tab. 25: Intensitätsskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film II_1 aus den Versuchen 1 und 2.

Versuch 1 (o.5 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.2o	o.58	o.61	o.66	o.67	o.79	o.88	o.95	1.o1	1.o7	1.19	1.28	1.38	1.5o	1.67	1.82	1.95
o.21	o.57	o.61	o.65	o.74	o.8o	o.87	o.95	1.o7	1.o7	1.18	1.31	1.44	1.55	1.72	1.9o	2.o3
o.19	o.58	o.6o	o.64	o.71	o.8o	o.85	o.93	1.o2	1.o8	1.2o	1.34	1.46	1.47	1.8o	1.89	2.1o
o.2o	o.59	o.62	o.67	o.75	o.82	o.89	o.97	1.o5	1.1o	1.22	1.34	1.48	1.59	1.79	1.93	2.16
o.21	o.57	o.63	o.66	o.68	o.8o	o.89	o.97	1.o3	1.1o	1.22	1.31	1.4o	1.53	1.72	1.85	2.o3
o.19	o.56	o.58	o.63	o.67	o.78	o.84	o.93	1.o1	1.o9	1.22	1.34	1.45	1.63	1.77	1.95	2.13

Versuch 2 (1 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.21	o.77	o.85	o.94	o.98	1.11	1.23	1.29	1.38	1.45	1.65	1.79	1.92	2.1o	2.33	2.53	2.73
o.21	o.84	o.9o	o.92	o.97	1.16	1.26	1.31	1.38	1.51	1.65	1.78	1.88	2.13	2.31	2.52	2.71
o.22	o.86	o.9o	o.95	1.oo	1.16	1.27	1.33	1.41	1.56	1.71	1.83	1.92	2.18	2.35	2.58	2.83
o.21	o.83	o.9o	o.95	1.oo	1.16	1.26	1.31	1.39	1.54	1.71	1.81	1.91	2.18	2.34	-	2.83
o.21	o.84	o.9o	o.92	o.96	1.16	1.25	1.31	1.38	1.53	1.65	1.78	1.88	2.13	2.3o	2.52	2.89
o.21	o.77	o.88	o.94	1.oo	1.1o	1.23	1.28	1.33	1.46	1.69	1.79	1.9o	2.12	2.32	2.52	2.75
o.22	o.9o	o.97	1.o3	1.o9	1.24	1.35	1.42	1.5o	1.71	1.84	1.98	2.11	2.38	2.56	2.79	3.o6
o.25	o.98	1.o7	1.14	1.24	1.35	1.48	1.61	1.65	1.81	1.96	2.o9	2.23	2.45	2.65	2.89	3.17
o.19	o.95	1.oo	1.o6	1.14	1.34	1.42	1.49	1.59	1.74	1.91	2.o5	2.19	2.47	2.67	2.91	3.12

Versuch 3 (1.6 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.21	1.o9	1.14	1.22	1.31	1.47	1.54	1.66	1.74	1.87	2.o1	2.14	2.26	2.51	2.7o	2.92	3.1?
o.22	1.o9	1.14	1.21	1.24	1.45	1.51	1.63	1.69	1.91	2.o8	2.21	2.35	2.62	2.93	3.o6	3.25
o.22	1.o8	1.15	1.21	1.25	1.44	1.55	1.64	1.74	1.9o	2.o9	2.2o	2.34	2.63	2.82	3.o2	3.23
o.21	1.13	1.18	1.24	1.32	1.5o	1.58	1.68	1.79	1.94	2.o7	2.21	2.36	2.68	2.87	3.1o	3.28
o.21	1.15	1.22	1.27	1.31	1.51	1.6o	1.69	1.76	2.oo	2.13	2.28	2.42	2.72	2.9?	3.18	3.3

Tab. 26: Intensitätsskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film II_2 aus den Versuchen 1, 2 und 3.

Versuch 1 (o.5 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.33	o.68	o.74	o.77	o.83	o.9o	o.99	1.o5	1.1o	1.17	1.27	1.4o	1.49	1.61	1.8o	2.o1	2.17
o.3o	o.72	o.77	o.82	o.86	-	1.o6	1.13	1.19	1.31	1.41	1.53	1.62	.79	1.91	2.o9	2.25
o.29	o.75	o.79	o.83	o.9o	1.o4	1.o9	1.14	1.21	1.31	1.5o	1.55	1.64	1.82	1.99	2.14	2.25
o.3o	o.74	o.77	o.82	o.87	1.o2	1.o9	1.15	1.23	1.34	1.47	1.57	1.67	1.84	1.96	2.15	2.26
o.26	o.7o	o.76	o.82	o.85	o.98	1.o6	1.16	1.21	1.27	1.42	1.53	1.61	1.78	1.97	2.14	2.25

Versuch 2 (1 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.31	o.98	1.o8	1.16	1.25	1.33	1.45	1.53	1.65	1.76	1.88	1.93	2.2o	2.39	2.57	2.72	3.o3
o.3o	1.o2	1.o8	1.14	1.19	1.36	1.45	1.55	1.61	1.76	1.94	2.o7	2.16	2.47	2.7o	2.88	3.o9
o.32	1.o6	1.11	1.15	1.18	1.43	1.49	1.59	1.61	1.83	1.97	2.1o	2.16	2.47	2.66	2.9o	3.o2
o.3o	1.o5	1.11	1.15	1.2o	1.41	1.49	1.59	1.61	1.83	1.95	2.11	2.21	2.46	2.67	2.89	3.o7
o.3o	1.o2	1.o8	1.15	1.19	1.37	1.45	1.57	1.62	1.77	1.93	2.o5	2.16	2.45	2.69	2.86	3.o9
o.31	o.97	1.o7	1.16	1.24	1.32	1.46	1.53	1.67	1.75	1.88	1.93	2.2o	2.38	2.53	2.71	3.o1
o.31	1.13	1.23	1.28	1.32	1.54	1.69	1.76	1.8o	2.oo	2.22	2.32	2.42	2.76	2.96	3.18	3.38
o.31	1.2o	1.32	1.39	1.4o	1.6o	1.75	1.83	1.92	2.o5	2.27	2.4o	2.51	2.78	2.98	3.2o	3.31

Versuch 3 (1.6 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.33	1.37	1.48	1.54	1.6o	1.75	1.88	1.99	2.o7	2.2o	2.38	2.52	2.68	2.82	3.o4	3.23	3.46
o.33	1.33	1.4o	1.45	1.55	1.72	1.82	1.92	2.oo	2.21	2.38	2.55	2.67	2.95	3.23	3.45	3.63
o.31	1.34	1.41	1.46	1.54	1.71	1.84	1.93	2.oo	2.2o	2.38	2.5o	2.59	2.85	3.o8	3.27	3.52
o.33	1.36	1.44	1.51	1.58	1.78	1.87	1.98	2.o7	2.24	2.41	2.53	2.67	2.9o	3.o7	3.31	3.52
0.32	1.35	1.44	1.51	1.57	1.72	1.84	1.96	2.o3	2.18	2.34	2.55	2.65	2.84	3.o9	3.32	3.54

Tab. 27: Intensitätsskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film III_2 aus den Versuchen 1, 2 und 3.

Versuch 1 (o.5 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.2o	o.38	o.41	o.45	o.5o	o.57	o.63	o.68	-	o.85	1.oo	1.o7	-	1.38	1.55	1.68	1.88
o.22	o.48	o.52	o.56	o.58	o.64	o.7o	o.76	o.79	o.85	o.99	1.o7	1.13	1.31	1.43	1.57	1.76

Versuch 2 (1 sec, 1o cm)

G	16	15	14	13	12	11	1o	9	8	7	6	5	4	3	2	1
o.19	o.7o	o.78	o.82	-	o.98	1.12	1.17	1.2o	1.33	1.49	1.62	1.6o	1.93	2.18	2.4o	-

Tab. 28: Intensitätsskala-Werte. Gemessene Schwärzungsstufen für Film III_1 aus den Versuchen 1 und 2.

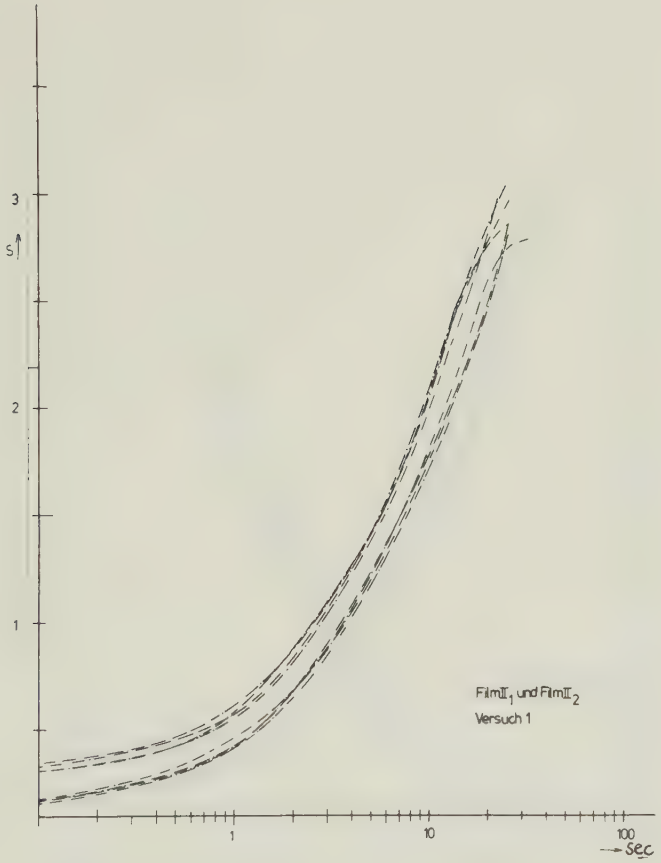


Abb. 24: Zeitskala-Kurve für Film II_1 und II_2, Versuchsanordnung 1 (s. S. 37)

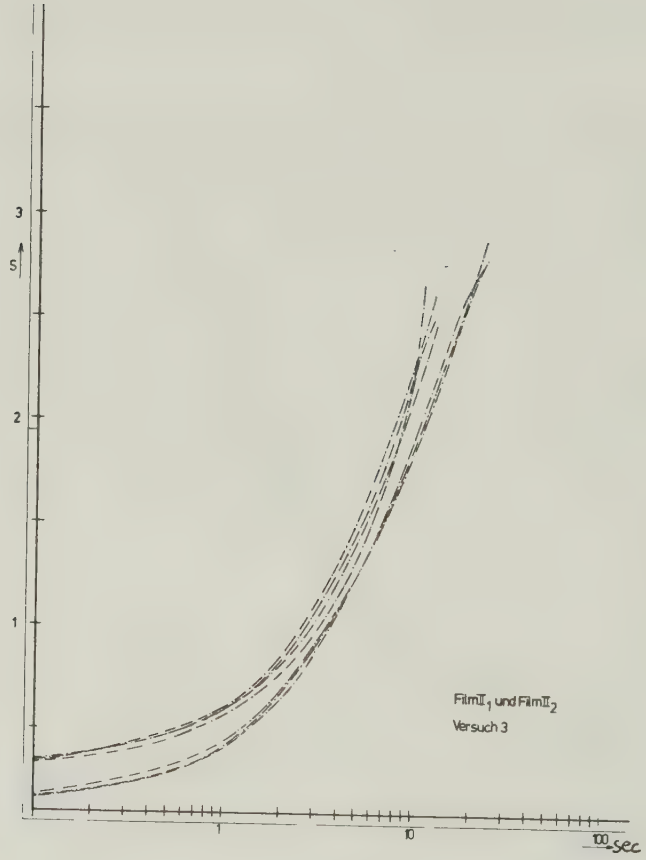


Abb. 25: Zeitskala-Kurve für Film II_1 und II_2, Versuchsanordnung 3 (s. S. 37)

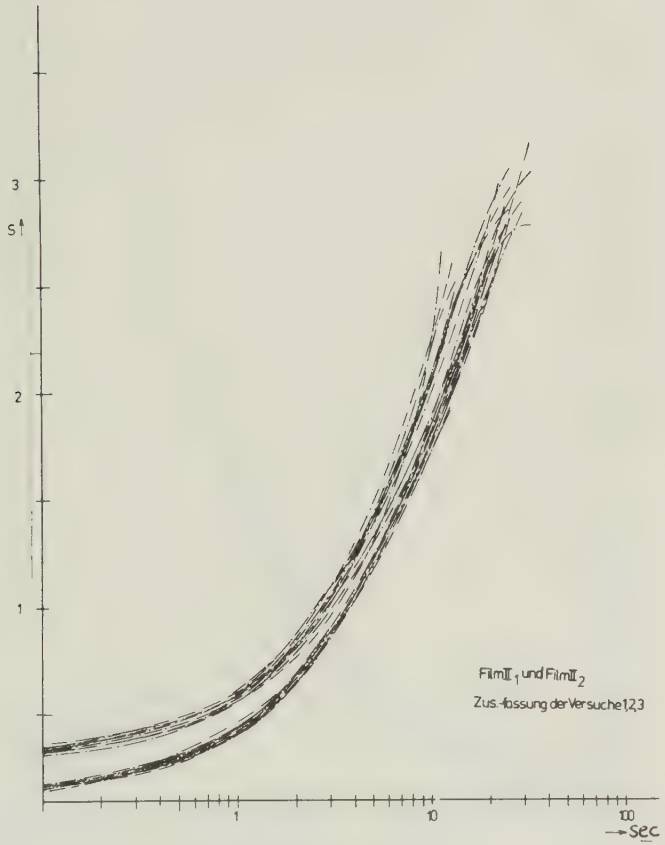


Abb. 26: Zeitskala-Kurve, Zusammenfassung der Kurvenverläufe entsprechend der Versuche 1, 2, 3 für Film II_1 und II_2 (s. S. 37)

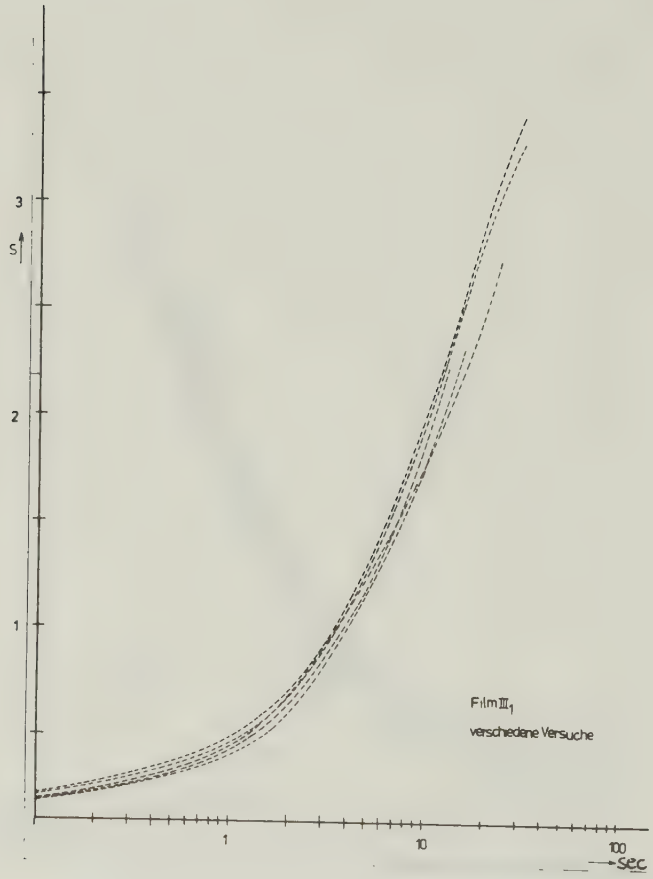


Abb. 27: Zeitskala-Kurve für Film III_1, verschiedene Versuche.

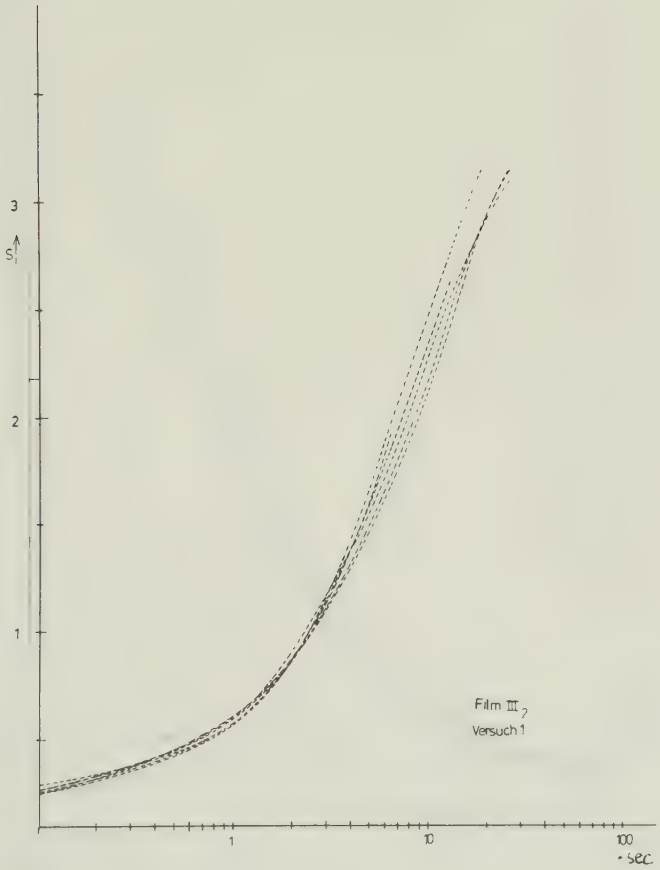


Abb. 28: Zeitskala-Kurve für Film III_2, Versuchsanordnung 1. (s. S. 37)

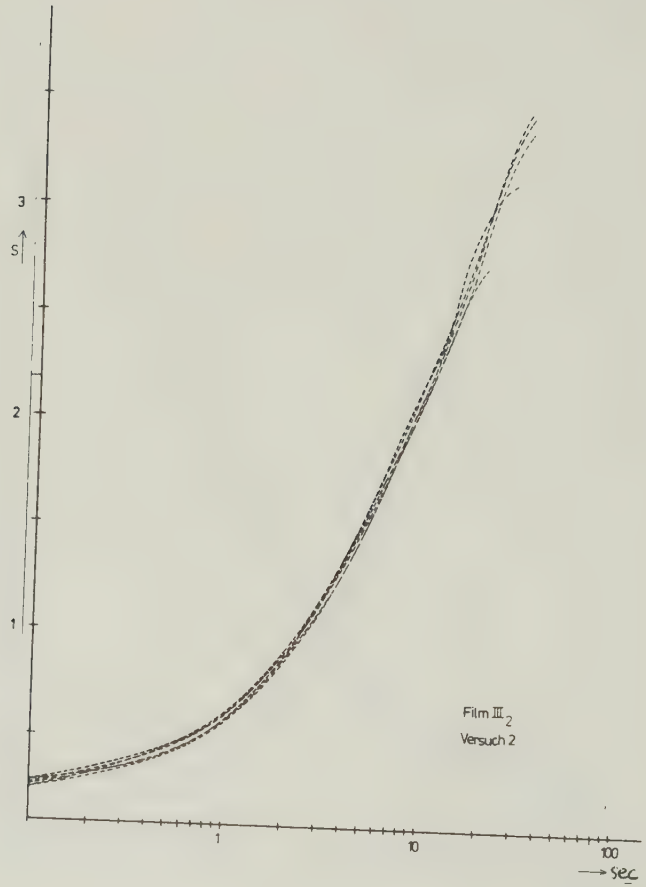


Abb. 29: Zeitskala-Kurve für Film III_2, Versuchsanordnung 2. (s. S. 37)

Abb. 3o: Zeitskala-Kurve für Film III_2, Versuchsanordnung 3. (s. S.37)

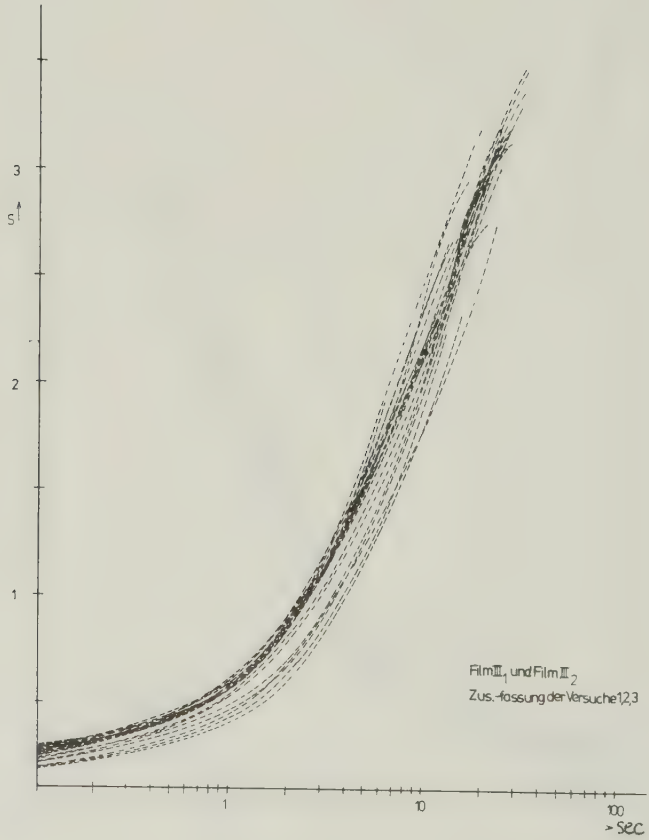


Abb. 31: Zeitskala-Kurve, Zusammenfassung der Kurvenverläufe entsprechend der Versuche 1, 2, 3 für Film III_1 und III_2. (s. S. 37)

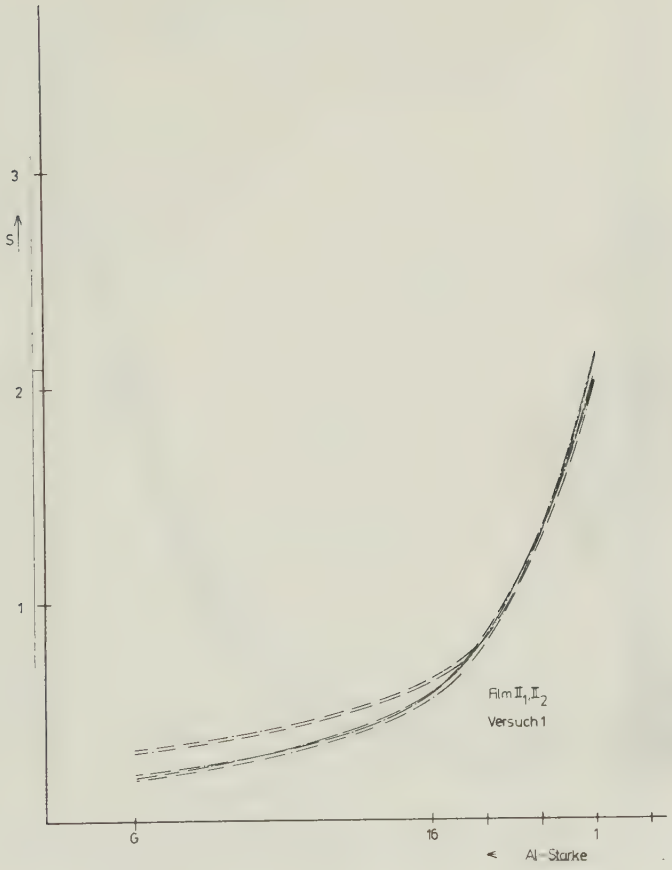


Abb. 32: Intensitätsskala-Kurve für Film II_1 und II_2, Versuchsanordnung 1 (s. S. 48)

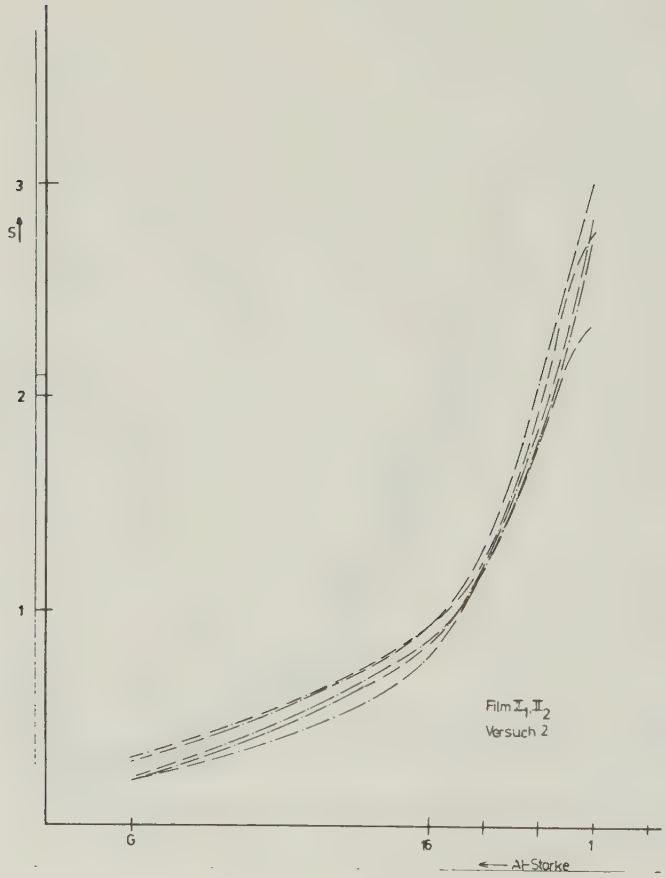


Abb. 33: Intensitätsskala-Kurve für Film II_1 und II_2, Versuchsanordnung 2 (s. S. 48)

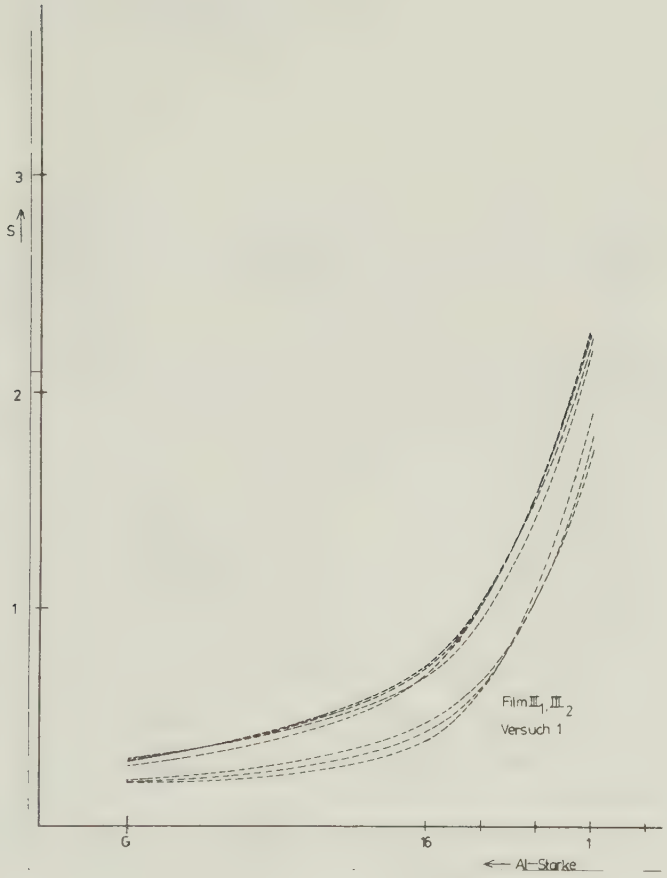


Abb. 34: Intensitätsskala-Kurve für Film III_1 und III_2, Versuchsanordnung 1 (s. S. 48)

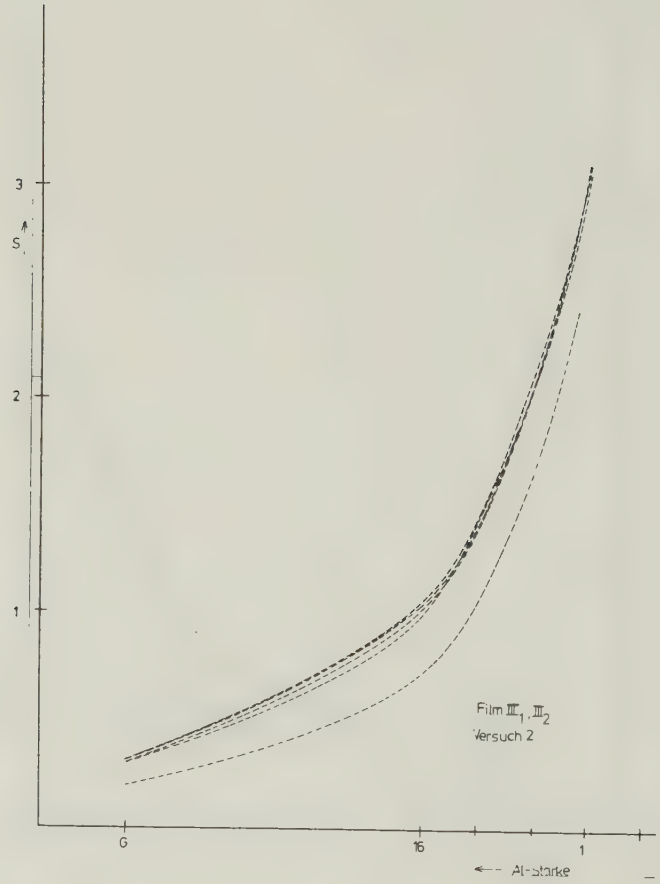


Abb. 35: Intensitätsskala-Kurve für Film III_1 und III_2, Versuchsanordnung 2 (s. S. 48)

L E B E N S L A U F

Ich wurde am 1.3.1951 in Potsdam-Babelsberg als Tochter des Drogisten Werner Richter und seiner Ehefrau, der Lehrerin Ingeborg Richter geb. Bathe, geboren.

1953 verließen meine Eltern die DDR und zogen nach West-Berlin. Ich besuchte von 1957 - 1963 die Bruno-Taut-Grundschule und anschließend die Albert-Einstein-Oberschule (Gymnasium) in Berlin-Britz, an der ich im Januar 197o das Abitur ablegte.

Im Sommer-Semester 197o begann ich das Studium der Zahnmedizin an der Freien Universität Berlin. Von August 1972 bis Mai 1973 besuchte ich die zahnmedizinische Fakultät der Temple University in Philadelphia, USA, mit Hilfe eines Fulbright-Stipendiums. Im Winter-Semester 1973/74 bestand ich das Physikum mit dem Urteil "gut".

Während der klinischen Ausbildung begann ich mit den Untersuchungen für die vorliegende Dissertation. Im Februar 1977 bestand ich das Staatsexamen mit dem Gesamturteil "gut".

SCHNELL
DRUCK
STEGLITZ